



Plano Nacional
de Energia 2055

Potencial dos Recursos Energéticos

Fevereiro 2026



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



FICHA TÉCNICA

(composição dos cargos em fevereiro de 2026)



Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Gustavo Cerqueira Ataíde

Secretário Nacional de Energia Elétrica

João Daniel de Andrade Cascalho

Secretária Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Ana Paula Lima Vieira Bittencourt

Secretário Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Renato Cabral Dias Dutra

Secretária Nacional de Transição Energética e Planejamento Substituta

Lorena Melo Silva Perim

www.mme.gov.br

Rio de Janeiro, 2026



Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa

Carlos Eduardo Cabral Carvalho

www.epe.gov.br

EQUIPE TÉCNICA

EPE

Adriana Queiroz Ramos
Amanda Vinhoza
Ana Dantas Mendez de Mattos
André Makishi
André Viola Barreto
Angela Oliveira da Costa
Bernardo Folly de Aguiar
Bernardo Regis Guimarães de Oliveira
Bruna Silveira Guimarães
Bruno Faria Cunha
Carla Lopes Achão
Charles Egberto G. V. Vieira de Mello
Clayton Borges da Silva
Cristiane Moutinho Coelho
Daniel Kühner Coelho
Danily Andrade Veloso
Deise dos Santos Trindade Ribeiro
Diego Pinheiro de Almeida
Elisângela Medeiros de Almeida
Erick Mateus Silva de Oliveira
Euler João Geraldo da Silva
Guilherme de Paula Salgado
Gustavo Fernando Schmidt
Gustavo J. Sampaio
Gustavo Lemos Cupertino

Gustavo Miranda de Magalhães
Isis de Oliveira Fernandes
João Mauricio Julião de Souza Lapa
Leonardo de Sousa Lopes
Leonardo Sanches Lima
Leônidas Bially Olegario dos Santos
Leyla Adriana Ferreira da Silva
Marcos Frederico F. de Souza
Maria das Graças de Freitas Gomes
Marina Damiano Besteti Ribeiro
Mauro Rezende Pinto
Nathalia Oliveira de Castro
Péricles de Abreu Brumati
Rafael Barros Araujo
Rafael Freitas Funcia Lemme
Rafael Pinho Furtado
Roberta de Albuquerque Cardoso
Rodrigo Vellardo Guimarães
Ronaldo Antonio de Souza
Silvana Andreoli Espig
Thais Accioly Araujo
Verônica Souza da Mota Gomes
Victor Hugo Trocate da Silva

Coordenação Geral

Thiago Guilherme Ferreira Prado (EPE)
Gustavo Cerqueira Ataíde (MME) até fev/2026
Lorena Melo Silva (MME) desde fev/2026

Coordenação Executiva

Gustavo Naciff de Andrade (EPE)
Leandro Pereira de Andrade (MME)
Patricia Costa Gonzalez de Nunes (EPE)

Coordenação Técnica

Caio Monteiro Leocádio (EPE)
Gabriel Konzen (EPE)
Gustavo Pires da Ponte (EPE)
Hermani de Moraes Vieira (EPE)
Luciano Basto Oliveira (EPE)
Rachel Martins Henriques (EPE)
Regina Freitas Fernandes (EPE)

ÍNDICE

Apresentação	6	7 Hidrogênio natural	33
1 Potencial energético consolidado	7	8 Energia geotérmica	35
2 Recursos hídricos	10	9 Petróleo e gás natural	38
3 Energia eólica	14	10 Carvão mineral	44
4 Biomassa	18	11 Urânio	46
5 Energia solar	26	Referências bibliográficas	49
6 Energia oceânica	31	Agradecimentos	53

VALOR PÚBLICO

Os estudos do Plano Nacional de Energia (PNE) orientam a formulação de políticas públicas, ajudam a guiar as decisões de diversas partes interessadas, como governos, empresas e a sociedade civil, e contribuem para a segurança energética do País.

A avaliação dos recursos energéticos aproveitáveis é etapa inicial e fundamental para a elaboração do PNE. O potencial mapeado é um insumo para os estudos subsequentes de oferta de eletricidade e de combustíveis, que deverão orientar a estratégia de expansão da oferta de energia brasileira no longo prazo.

Nesse contexto, o valor público deste documento está na sua capacidade de informar e orientar a tomada de decisão no setor energético, promover transparência, apoiar o planejamento de investimentos e o planejamento energético de longo prazo e, em última instância, beneficiar a sociedade brasileira ao fomentar um sistema energético seguro e eficiente.

APRESENTAÇÃO

A EPE tem entre suas principais atribuições o desenvolvimento de planos de médio e longo prazo para o setor energético nacional, como o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) e o Plano Nacional de Energia (PNE).

Por meio de uma governança inovadora, que envolve dois grupos de trabalho, um dedicado à elaboração dos cenários energéticos de longo prazo (GT Cenários) e outro à coordenação da representação e otimização das cadeias energéticas no modelo energético integrado (GT Modelos), a EPE tem liderado o processo de elaboração do novo Plano Nacional de Energia 2055 (PNE 2055). A publicação do PNE 2055 está em conformidade com a periodicidade definida na Portaria MME n. 6, de 7 de janeiro de 2020.

Uma etapa inicial e fundamental para a elaboração do PNE consiste na avaliação dos recursos energéticos aproveitáveis no País ao longo do horizonte até 2055.

Assim, este estudo é um insumo para os estudos subsequentes de oferta de eletricidade e de combustíveis, que deverão orientar a estratégia de expansão da oferta de energia brasileira no longo prazo.

Como o potencial foi identificado?

O critério aplicado para todas as fontes foi a identificação da disponibilidade física, considerando aspectos ambientais e sociais. Para tanto, **foram utilizadas as bases de dados oficiais e, em sua ausência, referências.** Estas foram utilizadas em sistemas de informação geográfica e, quando necessário, em modelos especialistas para estimar o inventário de cada fonte.

As análises priorizaram os pontos de vista técnico-econômico e socioambiental, quando aplicado, para avaliar a disponibilidade de fontes energéticas no País ao longo do horizonte de planejamento até 2055. As fronteiras máximas de produção nacional de cada fonte energética, definidas neste estudo, abastecem os modelos computacionais utilizados nos estudos de planejamento.

Cabe ressaltar que o potencial quantificado considera o conhecimento atual das reservas e tecnologias de conversão disponíveis. Adicionalmente, alguns recursos não tradicionais no Brasil, como a energia geotérmica, não foram quantificados. Assim, novos recursos, descobertas e avanços industriais podem elevar o potencial aqui apresentado.





1

Potencial energético consolidado

“A terra sobranceia o oceano, dominante, do fastígio das escarpas; e quem a alcança, como quem vinga a rampa de um majestoso palco, justifica todos os exageros descritivos (...) que fazem deste país região privilegiada, onde a natureza armou a sua mais portentosa oficina.” – Euclides da Cunha. Os Sertões, 1902.

Há disponibilidade para atender ao crescimento esperado da demanda de energia no horizonte de 2055 com folga expressiva, desde que o potencial seja bem aproveitado

Os recursos energéticos nacionais são abundantes. Em 2024, o consumo final de energia do Brasil foi de 288 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) (EPE, 2025). **O potencial renovável anual do país é aproximadamente cinco vezes superior ao consumo anual atual.**

Os recursos não renováveis, por sua vez, representam uma reserva energética significativa: o potencial técnico estimado totaliza 20.850 Mtep. Isso representa um volume cerca de 70 vezes superior ao consumo energético anual do país.

Dessa forma, a ampla disponibilidade de recursos energéticos nacionais configura uma vantagem estratégica do Brasil, capaz de suprir qualquer dos **cenários energéticos projetados no âmbito do PNE 2055**.

É importante destacar que as premissas são conservadoras. No caso dos não renováveis, o inventário cobre apenas parte do território, podendo haver volumes superiores. Para os renováveis, como a solar centralizada, foram consideradas apenas áreas com alta irradiação, o que também pode subestimar o potencial real.

Potencial renovável versus não renovável

Embora o potencial técnico anual das fontes renováveis seja inferior ao volume total dos estoques fósseis, trata-se de um fluxo contínuo de energia, disponível de forma indefinida ao longo do tempo. O valor apresentado representa a quantidade passível de aproveitamento em um único ano, refletindo a natureza recorrente e sustentável dessas fontes. Já os recursos não renováveis, mesmo abundantes, são finitos e exauríveis.

Tabela 1: Potencial energético renovável brasileiro para expansão

Recursos Renováveis (Fluxo)	Mtep / ano
Hidráulica ⁽¹⁾	75
Eólica <i>onshore</i> ⁽²⁾	228
Eólica <i>offshore</i> ⁽³⁾	218
Biomassa ⁽⁴⁾	671
Solar FV <i>onshore</i> centralizada ⁽⁵⁾	149
Heliotérmica ⁽⁶⁾	57
Solar FV <i>onshore</i> distribuída ⁽⁷⁾	34
Solar FV em reservatórios ⁽⁸⁾	7
Solar FV <i>offshore</i> ⁽⁹⁾	52
Oceânica ⁽¹⁰⁾	34
Hidrogênio natural ⁽¹¹⁾	52
Subtotal	1.577

Fonte: Elaboração própria

Tabela 2: Potencial energético não renovável brasileiro para expansão

Recursos não renováveis (Estoque)	Mtep
Petróleo ⁽¹²⁾	7.621
Gás natural ⁽¹³⁾	3.770
Carvão mineral ⁽¹⁴⁾	7.157
Urânio ⁽¹⁵⁾	2.302
Subtotal	20.850

Fonte: Elaboração própria

Por fim, a avaliação quanto à viabilidade de aproveitamento desses recursos, com foco em garantir a segurança do suprimento e a modicidade tarifária, é aprofundada nos estudos de oferta energética. Esses estudos, que consideram tanto soluções individuais quanto combinações de tecnologias (como a hibridização de fontes), fornecem subsídios essenciais para a elaboração dos planos de ação do setor energético.

Notas das Tabelas:

- (1) Considera UHEs e PCHs que estão em operação, construção e potencial hidrelétrico inventariado (ver seção específica).
- (2) Potencial a 150m de altura, calculado a partir dos atlas estaduais disponíveis, com premissas diversas (ver seção específica).
- (3) Potencial a 100m de altura, considerando áreas com velocidades médias ≥ 7 m/s e profundidade de até 50 m.
- (4) Potencial despreza a possibilidade de plantio de 12 milhões de hectares previstos no Acordo de Paris para servirem como insumo de UTEs, com 194,8 Mtep.
- (5) Considera as áreas com faixa de irradiação de 6,0-6,2 kWh/m².dia.
- (6) Considera tecnologia cilíndrico parabólico com armazenamento.
- (7) Considera 30% das áreas de telhado e fator de capacidade de 21%.
- (8) Considera 1% de ocupação de reservatórios artificiais, conforme premissas de (Padilha, et al., 2022) (ver seção específica)
- (9) Considera 1% (Padilha, et al., 2022) das áreas com faixa de irradiação de 6,5-6,8 kWh/m².dia.
- (10) Considera ondas e marés. Geração calculada a partir de um fator de capacidade de 40%.
- (11) Considera a densidade gravimétrica de energia do hidrogênio – 143 MJ/kg (TASHIE-LEWIS et al., 2021).
- (12)(13) Inclui os recursos convencionais descobertos e não descobertos.
- (14) Considera as reservas totais, uma recuperação média de 77% e poder calorífico de 3.900 kcal/kg.
- (15) Considera as reservas totais e perdas de mineração e de beneficiamento.

No entanto, há que se reconhecer os potenciais impactos das mudanças do clima na oferta de energia

As mudanças do clima trazem desafios relevantes para o planejamento e para a operação do sistema energético, principalmente por conta da interdependência de fontes renováveis com o clima e com os recursos naturais.

Além de impactarem a disponibilidade de recursos, alterações climáticas como as variações na temperatura alteram a eficiência de equipamentos e afetam a demanda¹. Os eventos climáticos extremos, por sua vez, podem causar danos às infraestruturas e aos serviços energéticos.

A geração hidrelétrica tem desafios significativos visto que é muito influenciada por alterações nos padrões de chuva, tanto em quantidade, quanto em distribuição sazonal e geográfica. No caso das eólicas, destacam-se os riscos de redução da geração em função de ventos severos e rajadas. Para a geração solar, os principais riscos associados são a redução da geração em função de aumento de nebulosidade e de particulados na atmosfera.

Quanto à bioenergia, sabe-se que a seca e o calor extremo afetam negativamente a disponibilidade de biomassa. Adicionalmente, alterações nos padrões de precipitação e temperatura podem afetar os ciclos, a produtividade e a aptidão agrícola, deslocando ou até inviabilizando áreas de cultivo.

¹ As modelagens adotadas nesta edição não contemplam explicitamente os efeitos das variações de temperatura sobre a eficiência dos equipamentos e a demanda de energia.

O aumento repentino na demanda de energia elétrica em função de ondas de calor também traz desafios importantes para a operação e planejamento do sistema.

Os sistemas de transmissão e distribuição são particularmente afetados por ventos severos, descargas atmosféricas e queimadas, que podem causar impactos na operação do sistema e interrupções no fornecimento de energia elétrica. Eventos como chuva extrema e seca também interferem na logística de abastecimento de combustíveis. Por fim, o aumento do nível e da temperatura das águas oceânicas pode impactar as infraestruturas presentes na zona costeira, sobretudo as relacionadas ao óleo e gás. Todos esses impactos podem afetar o acesso da população à energia.

A Figura 1 mostra as tendências climáticas projetadas para o Brasil classificadas como plausíveis, ou seja, que já estão ocorrendo e têm alto nível de confiança para ocorrer no futuro. Destacam-se: o aumento da temperatura (média, máxima e mínima) e de onda de calor para todas as regiões do Brasil; o aumento na magnitude da chuva extrema para as regiões Norte, Sudeste e Sul; o aumento na frequência e duração de secas para Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste; o aumento de vento severo para Norte, Nordeste, Sudeste e Sul; e o aumento no nível médio do mar para toda a costa brasileira.

Figura 1: Tendências climáticas para o Brasil



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da Estratégia Nacional de Adaptação de Mudança do Clima (2024).



2

Recursos hídricos

“(...) o rio por aí se estendendo grande, fundo, calado que sempre. Largo, de não se poder ver a forma da outra beira.” – João Guimarães Rosa. A Terceira Margem do Rio, 1962.

Hidrelétricas seguem protagonistas. Seus reservatórios asseguram confiabilidade frente à intermitência eólica-solar

A hidreletricidade tem sido historicamente a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro, correspondendo atualmente a 55,3% da matriz elétrica nacional (EPE, 2025). Tal protagonismo decorre tanto do abundante potencial hídrico do território brasileiro quanto das vantagens intrínsecas desta fonte: **além de ser renovável, apresenta elevada flexibilidade operativa, podendo se ajustar às oscilações na demanda praticamente em tempo real.**

A expansão da hidreletricidade, contudo, enfrenta desafios importantes. **Projetos de grande porte estão associados a impactos socioambientais significativos e a elevados desembolsos de capital nos anos iniciais de construção.** Soma-se a isso o fato de **grande parte do potencial remanescente situar-se distante dos principais centros de carga, exigindo vultosos investimentos em extensas linhas de transmissão para escoar a energia produzida.**

Apesar dos obstáculos, destaca-se que **a energia potencial retida nos reservatórios pode ser convertida em eletricidade nos períodos em que a produção eólica ou a irradiação solar diminuem, contribuindo para a confiabilidade do suprimento.** Assim, mesmo que reservatórios extensos possam implicar impactos socioambientais mais expressivos, eles permitem, com alta eficiência, a penetração crescente dessas fontes variáveis.

Em síntese, embora a implantação de novos aproveitamentos hidrelétricos enfrente barreiras socioambientais, econômicas e logísticas, **a hidreletricidade permanece vital para o sistema elétrico brasileiro.** Sua capacidade singular de armazenamento e regulação confere-lhe **papel decisivo tanto na segurança energética quanto na transição** para uma matriz cada vez mais diversificada e dependente de fontes renováveis variáveis.

Usinas hidrelétricas a fio d'água

Uma usina hidrelétrica a fio d'água gera eletricidade aproveitando o fluxo natural dos rios, sem necessidade de grandes reservatórios. Utiliza uma pequena represa ou o desnível natural do terreno para direcionar a água por um conduto forçado até a turbina, onde a força da corrente movimenta um gerador. Após a geração, a água é devolvida ao rio. Esse tipo de usina é ideal para regiões com boa vazão e inclinação no leito do rio. É uma alternativa com menor impacto ambiental e adequada para locais com restrições de armazenamento hídrico.

Usinas hidrelétricas com reservatórios

Essas usinas permitem conservar energia por semanas, meses ou até anos, garantindo o fornecimento mesmo em regimes hidrológicos adversos. Esses reservatórios também viabilizam múltiplos serviços não energéticos como: controle de cheias, irrigação, abastecimento humano, recreação e navegação, embora tais usos concorrentes possam, por vezes, restringir a disponibilidade hídrica dedicada à geração.

Usinas hidrocinéticas

São usinas que visam o aproveitamento da energia cinética da água, convertendo-a em energia elétrica por meio de um rotor ou hélice em rios, com pequenas correntezas e canais fluviais, sem a necessidade de barragens ou reservatórios. Essa tecnologia pode ser utilizada especialmente em locais com restrições topográficas, além de atender comunidades ribeirinhas nos Sistemas Isolados, ou como fonte de microgeração distribuída. Esse aproveitamento ainda é pouco explorado no Brasil e estudos adicionais são necessários para quantificar o seu potencial nacional. De toda forma, se mostra como uma alternativa energética no PNE 2055.

Contudo, o aproveitamento do potencial hidrelétrico remanescente enfrenta desafios socioambientais, econômicos e logísticos

Para estimar o potencial hidrelétrico nacional, foi elaborado um levantamento das usinas hidrelétricas (UHEs) e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) que se encontram, no mínimo, com os estudos de inventário concluídos e aprovados¹. Com isso, assegura-se confiabilidade técnica, econômica e socioambiental.

O valor obtido expressa o potencial passível de ser aproveitado no longo prazo e não o que efetivamente será desenvolvido. Trata-se de um valor dinâmico, atrelado às premissas vigentes à época dos estudos e sempre sujeito à revisão de critérios de viabilidade, custos ou socioambientais.

Dos 178 GW de potencial hidrelétrico mapeado no País, 111,6 GW já estão em operação ou construção, volume que faz do Brasil o segundo maior gerador hidrelétrico do mundo, atrás apenas da China.

O potencial remanescente inventariado é de 66,4 GW, conforme Tabela 3. Desse número, **restam 12 GW em UHEs que não interferem em áreas protegidas** (Figura 2). Ainda assim, há desafios socioambientais, logísticos e econômicos para o seu aproveitamento.

Em paralelo, destaca-se o **potencial de 14,4 GW em projetos de PCHs**. São projetos de menor porte, que se mostram como alternativa de expansão às hidrelétricas convencionais.

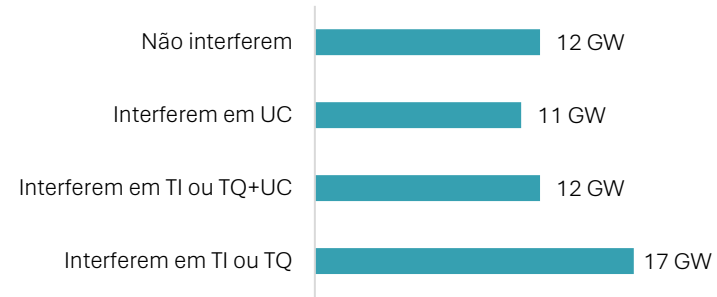
Tabela 3: Potencial hidrelétrico brasileiro para os estudos de longo prazo

Etapa	UHEs (GW)	PCH (até 30 MW) (GW)	Total (GW)	Energia (Mtep/ano) ²
Operação e construção ⁽¹⁾	103	8,6	111,6	47
Potencial hidrelétrico inventariado	52	14,4	66,4	28
Potencial hidrelétrico brasileiro	155	23,0	178	75

¹ Estimativa decorre de levantamento realizado nas bases SIGA/ANEEL e Acompanhamento de UHEs da EPE (maio 2024). Considera apenas 50% da potência de Itaipu (usina binacional).

² Considera um fator de capacidade de 56%.

Figura 2: Relação do potencial hidrelétrico inventariado (UHEs) com as áreas protegidas



Nota: UC – Unidade de Conservação; TI – Terra Indígena; TQ – Terra Quilombola.
Fonte: ANEEL (2024) e EPE (2024).

O valor do potencial hidrelétrico de UHEs remanescentes (inventariado) no Brasil é de 52 GW. Porém, há desafios relevantes associados ao seu aproveitamento.

O potencial apresentado apresenta desafios socioambientais que se somam a entraves de natureza econômica e regulatória. Entre eles, destacam-se a crescente competitividade de outras fontes, os elevados custos de financiamento e construção, além da remuneração ainda insuficiente pelos serviços sistêmicos prestados pelas usinas hidrelétricas.

Usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs) se mostram como alternativa estratégica de armazenamento para o sistema elétrico brasileiro

As usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs) são concebidas especificamente como sistemas de armazenamento. Embora sejam consumidoras líquidas de energia ao longo de seu ciclo operacional, desempenham papel estratégico ao possibilitar o bombeamento de água de um reservatório inferior para outro superior quando em períodos de excesso de oferta, como nos momentos de elevada geração solar e/ou eólica.



A água armazenada é então turbinada nos horários de maior demanda ou menor oferta renovável, disponibilizando potência instantânea e auxiliando a estabilidade do sistema. Originalmente concebidas para atender à ponta diária, essas usinas figuram, em estudos de longo prazo, como alternativa renovável e isenta de emissões para o armazenamento de energia e a mitigação da variabilidade das fontes eólica e solar.

Nesse contexto, a EPE elaborou um inventário inicial com o potencial de implantação de usinas hidrelétricas reversíveis no estado do Rio de Janeiro. O estudo considera, além da energia armazenável e do pré-dimensionamento das obras e equipamentos, fatores topográficos, geológico-geotécnicos, hidrológicos, socioambientais e as necessidades sistêmicas estratégicas para o planejamento elétrico nacional.

O levantamento identificou 23 locais adequados no estado, dos quais 15, com condições socioambientais mais favoráveis, foram selecionados para pré-dimensionamento. As potências estimadas para esses projetos variam de 492 MW a 4.276 MW, **totalizando cerca de 21 GW de potencial hidrelétrico reversível para o estado do Rio de Janeiro.**

A experiência obtida nesse inventário indica a viabilidade técnica dessa tecnologia e **aponta para a possibilidade de ampliação desse tipo de estudo para outros estados da federação**, contribuindo para avaliações em escala nacional no horizonte de longo prazo.



3

Energia eólica

“Agora, sim, ela ouvia o vento. Não era um sopro uniforme: de vez em quando amainava, de repente vinha uma rajada mais forte, e Ana ouvia também o crepitar miúdo da poeira caindo no chão e na coberta da casa.” – Erico Verissimo. O Tempo e o Vento, 1949.

Os ventos alísios que incidem sobre o litoral brasileiro, especialmente no Nordeste, são constantes, intensos e previsíveis, proporcionando excelente geração eólica

O vento é provocado pelo aquecimento desigual das superfícies da Terra. O aquecimento diferenciado das regiões, e em específico da atmosfera, provoca gradientes de pressão que são responsáveis por movimentos da massa de ar. Além das diferenças de pressão, o vento é influenciado por mecanismos complexos que envolvem a rotação da Terra, conhecido como **a força inercial de Coriolis** (Figura 3), os efeitos físicos de montanhas e outros eventuais obstáculos e da rugosidade dos terrenos.

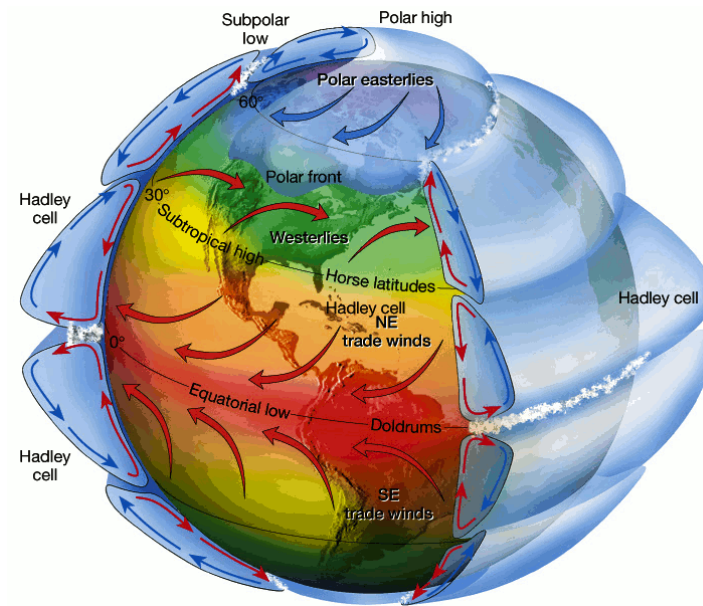
No contexto da energia elétrica, são de importante influência os ventos regionais, que são aqueles caracterizados por brisas marítimas e terrestres, ventos em vales e montanhas, nevoeiros, temporais e tornados. **No caso do Brasil, destaca-se a atuação dos ventos alísios**, fluxos constantes e predominantes de leste, que incidem sobre o litoral nordestino, conferindo elevada regularidade e intensidade ao recurso eólico nessa região.

Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, o sistema de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS) influencia os ventos predominantes, favorecendo a atuação de ventos de leste-nordeste que podem se comportar como contra-alísios. Esse sistema modula a estabilidade atmosférica e afeta a intensidade e direção dos ventos, influenciando diretamente o aproveitamento eólico nessas regiões.

Estes fenômenos caracterizam os ventos de determinadas regiões tanto pela velocidade quanto pela disponibilidade do recurso, podendo fornecer características bastante particulares que viabilizam o uso do recurso eólico para fins elétricos com mais confiança e retorno. **Em geral, as regiões onde se pode encontrar maior disponibilidade e qualidade do recurso eólico são as regiões costeiras e regiões montanhosas** (WORLD ENERGY COUNCIL, 2007).

O ar, como qualquer outro fluido quando em movimento, possui energia que pode ser aproveitada. No caso do recurso eólico, esse aproveitamento é obtido quando o vento atravessa as pás de uma turbina, que são projetadas para capturar sua energia cinética, movimentando um eixo que une o rotor e o gerador. O gerador, por sua vez, transforma essa energia em eletricidade. **A influência de obstáculos e da rugosidade do terreno diminui com a altura, o que justifica a instalação de aerogeradores em maiores altitudes e em áreas abertas ou próximas à água.** No caso das usinas *offshore*, a ausência de obstáculos e a baixa rugosidade do mar favorecem ventos mais intensos e estáveis, além de viabilizarem turbinas maiores e mais potentes.

Figura 3: Ventos alísios formados pela força inercial de Coriolis



Fonte: IAG/USP (s.d.)

O Brasil apresenta condições vantajosas para o aproveitamento do recurso eólico *onshore* devido a sua extensa faixa litorânea e à presença de ventos constantes também no interior

O mapeamento do potencial eólico brasileiro começou na década de 1970, com a elaboração do primeiro atlas em 1979, baseado em medições anemométricas limitadas a até 10 metros de altura. Esse panorama começou a mudar significativamente com o Atlas de 2001, que incorporou torres de medição de 50 metros e simulações computacionais mais avançadas, estimando um potencial instalável de 143 GW para ventos médios superiores a 7 m/s. No entanto, esse valor tornou-se defasado diante da evolução tecnológica dos aerogeradores, que hoje operam frequentemente acima de 100 metros de altura.

Com o Atlas Eólico Nacional publicado em 2013 pelo CEPEL, o Brasil passou a contar com dados mais abrangentes, incluindo mapas temáticos de velocidade do vento e densidade de potência para alturas de até 200 metros. Complementarmente, diversos estados desenvolveram seus próprios atlas, permitindo estimativas mais refinadas.

Essa evolução reflete não apenas melhorias metodológicas e tecnológicas (como taxas de ocupação mais realistas, curvas de potência atualizadas e exclusão de áreas com restrições legais), mas também a crescente maturidade do setor.

¹ Potencial instalável de Pernambuco considera altura de 140 metros.

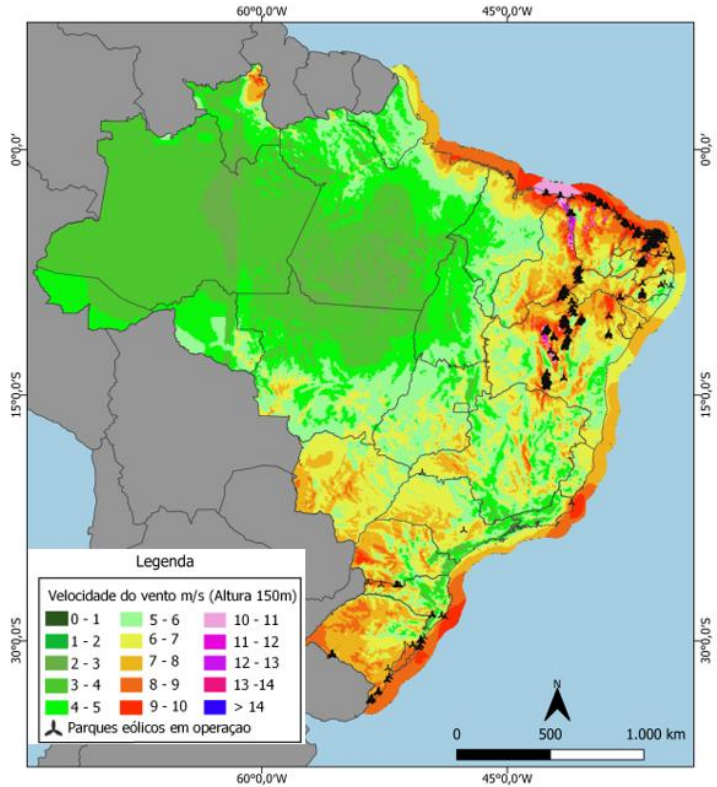
A partir da consolidação desses estudos estaduais, o potencial instalável *onshore* brasileiro foi estimado em **quase 700 GW a 150 metros** de altura (Tabela 4), para médias anuais acima de 7 m/s, valores muito superiores aos de 2001 e que reforçam o papel estratégico do País no cenário da transição energética global.

Tabela 4: Levantamentos estaduais do potencial eólico a 150 metros de altura

Estados	Potência Instalável (MW)	Energia (GWh)	Energia (Mtep/ano)
BA ²⁰¹³	195.200	766.500	66
CE ²⁰¹⁹	94.274	362.162	31
ES ²⁰²²	15.006	58.340	5
PB ²⁰¹⁶	42.100	167.880	14
PE ²⁰¹⁷	20.829 ¹	84.158 ¹	7
RN ²⁰²²	82.880	303.230	26
RS ²⁰¹⁴	245.300	911.000	78
Total	695.589	2.653.270	228

Fonte: Elaboração própria.

Figura 4: Potencial eólico estimado e distribuição dos parques eólicos em operação no Brasil.



Fonte: Elaboração própria, a partir de (CEPEL, 2013) e (ANEEL, 2024).

Com mais de 8.000 km de costa com ventos intensos e constantes ao longo da “Amazônia Azul”, o Brasil reúne condições excepcionais para a geração de energia eólica offshore

Apesar de ainda não haver parques eólicos *offshore* instalados no Brasil, o interesse por essa fonte tem crescido de forma expressiva nos últimos anos. **O País conta com mais de 8.000 km de costa, o que, aliado ao bom regime de ventos no litoral, torna o território especialmente atrativo para a geração eólica marítima.**

Um marco relevante para o desenvolvimento da energia eólica *offshore* no Brasil foi o lançamento, em 2020, do Roadmap da Eólica Offshore. O documento avaliou o potencial técnico do recurso no litoral brasileiro, identificou barreiras tecnológicas, regulatórias e ambientais, e fomentou o engajamento de diversos agentes públicos e privados.

Estima-se um potencial técnico instalável de aproximadamente 697 GW em áreas marítimas com profundidade de até 50 metros, com geração anual estimada de 2.536 TWh (equivalente a 218 Mtep)¹. A Tabela 5 apresenta os valores de Fator de Capacidade por região litorânea, parâmetro essencial para a análise do potencial técnico.

Desde então, as discussões vêm evoluindo, alguns avanços normativos e regulatórios foram alcançados e, até março de 2025, mais de 247 GW de projetos (com sobreposições espaciais entre si) estavam com processos de licenciamento abertos no IBAMA (2025).

¹ Potencial a 100 metros de altura, considerando áreas com velocidades médias ≥ 7m/s e profundidade de até 50 metros.
² O estudo e mapa apresentados foram elaborados antes do reconhecimento oficial da ampliação da área marítima brasileira (em março de 2025).

Além da extensa faixa litorânea, **o Brasil apresenta amplas áreas de águas rasas, regimes de vento constantes** e sinergias estruturais com a infraestrutura do setor de óleo e gás, notadamente nas regiões Sudeste e Nordeste.

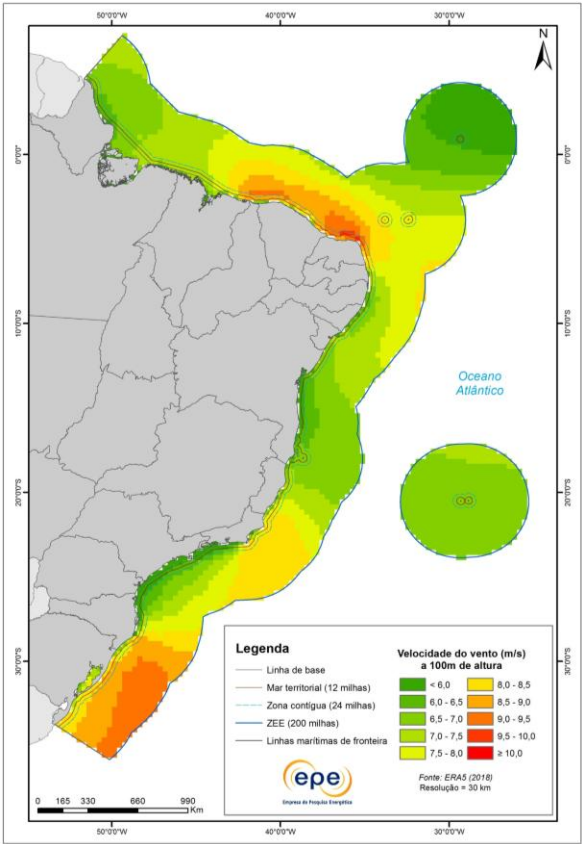
Nesse cenário, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre o recurso e consolidar a eólica *offshore* como alternativa estratégica para a expansão da matriz elétrica nacional – movimento já considerado nos Planos Decenais de Expansão da EPE desde 2019.

Tabela 5: Fator de Capacidade nas regiões brasileiras

Velocidade (m/s)	Fator de Capacidade			
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul
6,0 - 6,5	22%	23%	22%	23%
6,5 - 7,0	25%	30%	32%	31%
7,0 - 7,5	32%	37%	38%	37%
7,5 - 8,0	36%	42%	43%	43%
8,0 - 8,5	40%	46%	47%	46%
8,5 - 9,0	47%	54%	49%	49%
9,0 - 9,5	53%	62%	53%	53%
9,5 - 10,0	56%	65%	56%	56%
≥ 10,0	59%	68%	59%	59%

Fonte: Elaboração própria.

Figura 5: Mapa de calor com a velocidade média anual dos ventos offshore a 100 metros de altura²



Fonte: Elaboração própria.



4

Biomassa

“Luz do sol / Que a folha traga e traduz / Em verde novo / Em folha, em graça, em vida, em força, em luz.” – Caetano Veloso. Luz do Sol, 1986.

Condições climáticas favoráveis, vastas terras agricultáveis, conhecimento técnico e mercado estruturado facilitam a expansão da biomassa no Brasil

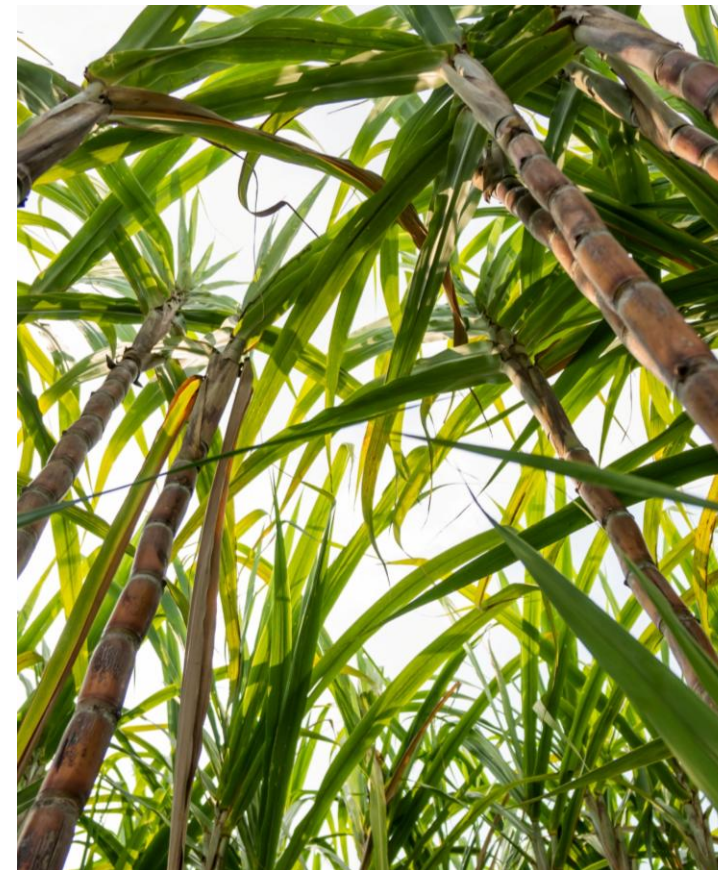
A bioenergia responde por 8,8% do consumo energético mundial, o que corresponde a 1,3 bilhão de toneladas equivalentes de petróleo (tep) (IEA, 2023a). Entre 2010 e 2022, a demanda internacional por biomassa aumentou aproximadamente 20%.

Desse total, **o Brasil participa com 107 milhões de tep (Mtep)**. No âmbito doméstico, **a biomassa representou 33,3% da Oferta Interna de Energia em 2024** – produtos da cana-de-açúcar responderam por 16,7%, lenha e carvão vegetal por 8,5%, e lixo, biodiesel, outras biomassas, biogás e gás de carvão vegetal somaram os 8,1% restantes (EPE, 2025).

A bioenergia brasileira baseia-se em seis famílias de recursos: biomassa florestal (principalmente lenha e carvão vegetal), cana-de-açúcar, milho, óleos e gorduras, resíduos agropecuários e resíduos urbanos. Esses insumos abastecem tanto a geração elétrica quanto a produção de biocombustíveis, e ocupam lugar de destaque na matriz nacional.

O Brasil dispõe de condições climáticas favoráveis, ampla disponibilidade de terras agricultáveis e conhecimento técnico que viabilizam o aumento sustentável da produção de biomassa. O País detém um mercado já maduro – tanto em oferta quanto em consumo – aliado a uma cadeia de serviços consolidada para projetos de bioenergia. Centros de pesquisa públicos e privados mantêm programas contínuos de melhoramento genético, mecanização e otimização de rotas de conversão energética, elevando a produtividade por hectare.

No campo regulatório, **políticas públicas fomentam o uso de combustíveis renováveis no País e incentivam investimentos no setor**, como o RenovaBio (Política Nacional de Biocombustíveis, Lei nº 13.576/2017), a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e o Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024). Em escala internacional, iniciativas de descarbonização do transporte aéreo (ICAO/CORSIA) e marítimo (IMO) sinalizam demanda adicional por biocombustíveis de base biomassa, reforçando a vantagem comparativa brasileira para 2055.



Perspectivas para 2055 apontam que a produção de cana-de-açúcar poderá dobrar, consolidando-se como vetor estratégico da descarbonização da matriz brasileira.

Processos produtivos da cana-de-açúcar

O caldo extraído da moagem abastece simultaneamente a fabricação de açúcar e a produção de etanol de 1ª geração. O bagaço remanescente, por sua vez, é consumido nas caldeiras das usinas através da cogeração de calor e eletricidade para o consumo da usina e para exportação ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Nos últimos anos, bagaço, palha e ponta passaram a servir também de insumo para a rota de etanol de 2ª geração. Além disso, palha e ponta reforçam o suprimento de biomassa para as caldeiras. A vinhaça, subproduto da fermentação do caldo, pode ainda ser biodigerida para produzir biogás.

Expansão projetada da cana-de-açúcar

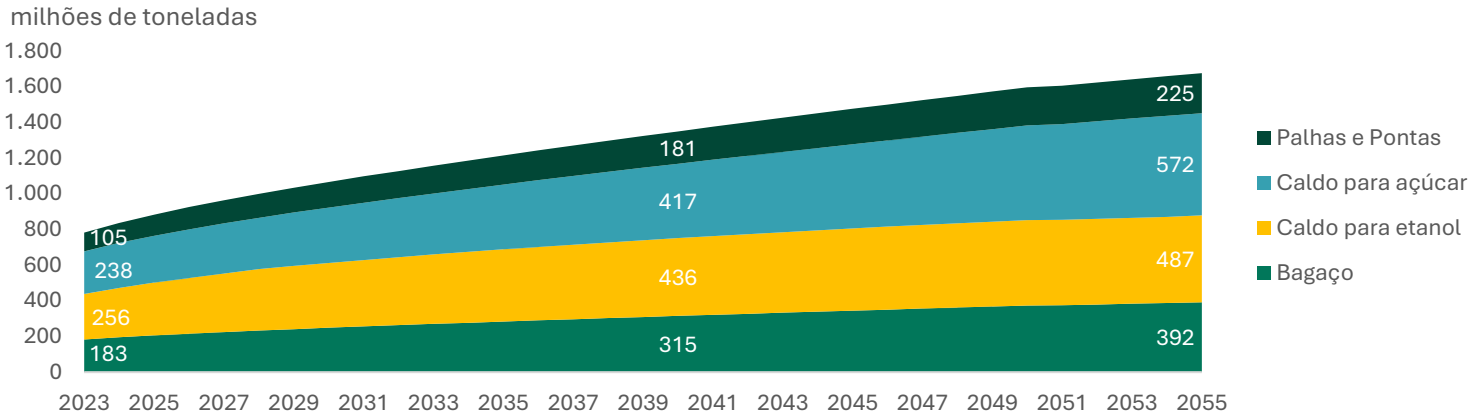
A partir de projeções do MAPA (2024), estima-se que a produção de cana poderá dobrar no horizonte do PNE 2055, alcançando pouco mais de 1,4 bilhão de toneladas. Nesse caso, a oferta energética proveniente da cana, hoje em 86,5 Mtep, poderá atingir 181,9 Mtep em 2055 – um incremento de 109 % que consolida o complexo sucroalcooleiro como importante vetor da descarbonização da matriz energética brasileira.

Etanol de milho

O etanol de milho utiliza o amido do grão como matéria-prima e se beneficia de duas características logísticas-chave: (i) o cereal pode ser armazenado, permitindo operação contínua das usinas ao longo do ano, e (ii) boa parte da produção nacional provém da safrinha – a segunda safra semeada logo após a colheita da soja, que aproveita a umidade residual do solo e dispensa a abertura de novas áreas agrícolas. A expansão baseada na safrinha reforça a sustentabilidade do insumo, pois eleva a produtividade anual por hectare e reduz pressões sobre o uso da terra.

A partir das projeções do MAPA (2024), estima-se uma produção potencial de **318 milhões de toneladas de milho até o final do horizonte do PNE 2055**. Caso essa produção seja integralmente destinada à rota alcooleira, seria possível produzir cerca de **134 bilhões de litros de etanol, equivalente a 68 Mtep de oferta energética**.

Figura 6: Projeção da produção de bagaço, caldos para etanol e açúcar e palha e ponta



Fonte: Elaboração própria, a partir de projeções de MAPA (2024).

Soja segue como principal insumo para biodiesel e o aproveitamento do sebo bovino se confirma como alternativa para diversificar a base de matérias-primas

Biodiesel

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais, novos ou usados, gorduras animais, ácidos graxos residuais de processos industriais e de resíduos urbanos.

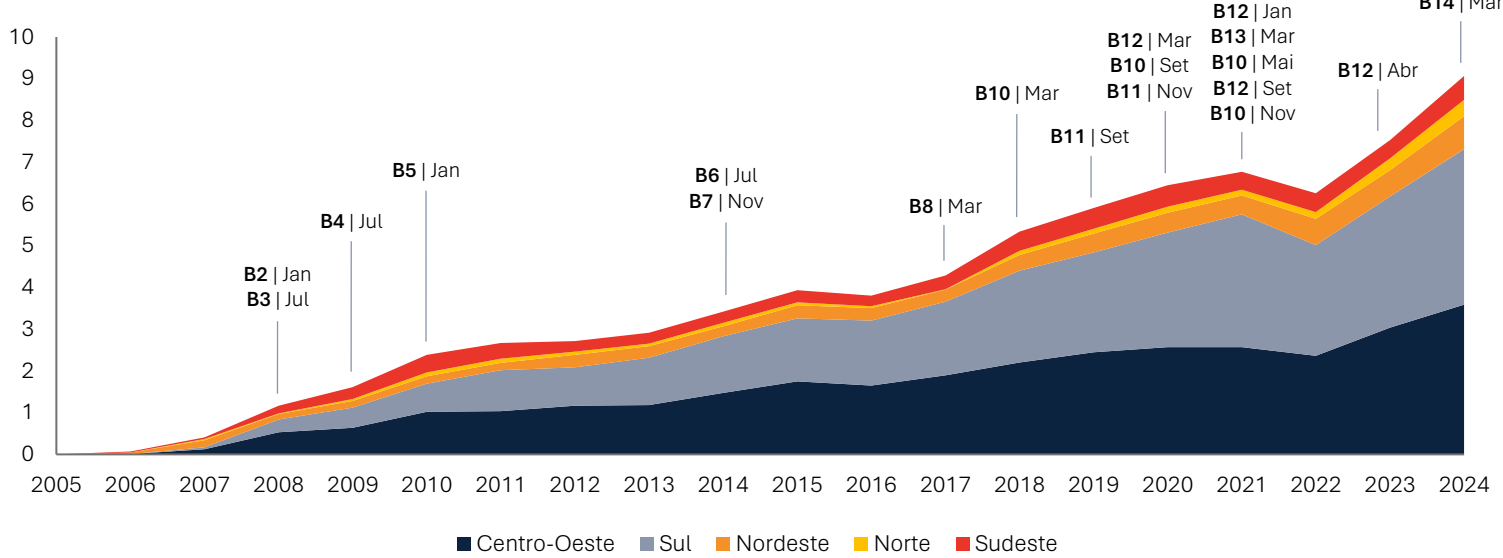
Atualmente, **a cultura que abastece a maior parte do consumo nacional de biodiesel é a soja**, cultura anual que produz cerca de 620 litros de óleo por hectare. Convém ressaltar que o potencial futuro depende das projeções de produção da soja, as quais variam conforme o cenário macroeconômico adotado e pressupõem a manutenção da relevância do setor agropecuário no longo prazo.

No caso da gordura animal, estima-se que, em 2055, sejam abatidas 68 milhões de cabeças de gado, cada uma com cerca de 23 kg de gordura (ANUALPEC, 2011), o que totalizaria aproximadamente 1,56 milhão de toneladas de sebo. Como seu preço se mantém próximo ao do óleo de soja, espera-se que essa fonte se torne economicamente mais atraente ao longo dos anos.

Historicamente, **o sebo bovino responde por cerca de 15% da oferta de biodiesel, mas poderia alcançar algo próximo de 35%** caso todo o potencial fosse efetivamente utilizado.

Em 2022, o Brasil produziu 4,9 milhões de tep (Mtep) de biodiesel, o equivalente a apenas 13% do potencial teórico daquele ano e a cerca de 2% do consumo final de energia nacional, mesmo com uma oferta de insumos estimada em 24,9 Mtep. **Para 2055, projeta-se um potencial teórico de até 54,9 Mtep** com base na produção agropecuária prevista pelo MAPA (2024) ou até 68 Mtep se considerado que parte da área amazônica possa fornecer insumo a partir da palma. É importante ressaltar que os principais insumos utilizados para a produção de biodiesel (óleos vegetais) têm a indústria alimentícia como mercado principal devido à melhor remuneração. Por isso, é estratégico ampliar a oferta de insumos que não rivalizem com a cadeia alimentar, como os óleos produzidos a partir de resíduos.

Figura 7: Evolução da produção de biodiesel do Brasil, por região, em milhões de m³



Fonte: Elaboração própria, a partir de ANP (2025) e EPE (2025).

Eficiência pecuária diminui potencial de biomassas residuais do setor, enquanto expansão de palhas agrícolas favorece ampliação das biomassas residuais agrícolas

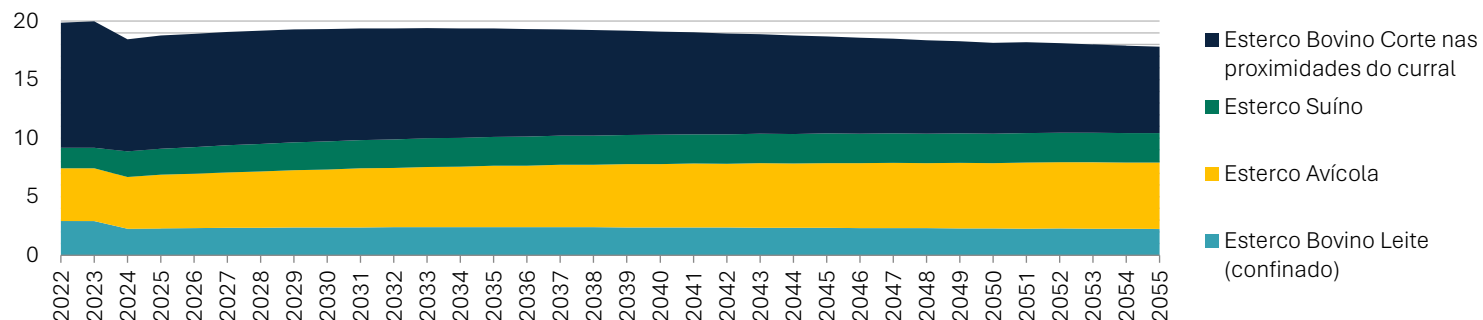
Biomassas residuais da pecuária

Para estimar o potencial energético dos resíduos pecuários, considerou-se o esterco gerado em sistemas confinados de suínos, aves e bovinos de leite, além de 40% do esterco produzido por bovinos de corte em regime extensivo próximo a currais. Os resultados indicam que, **em 2023, o volume de esterco com potencial energético somou cerca de 19 Mtep**. Até 2055, embora se projete expansão na produção de carne, ovos e leite, ganhos de eficiência - como maior rendimento de carcaça e avanço genético, devem levar a um leve decréscimo do rebanho de bovinos de corte, reduzindo o **potencial total para aproximadamente 17 Mtep**¹.

Biomassas residuais agrícolas

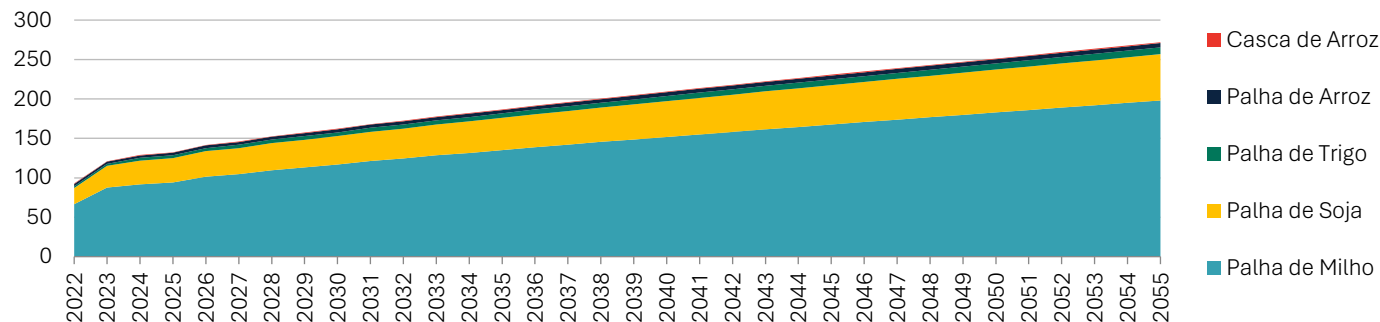
Resíduos agrícolas representados pelas palhas de soja, milho, arroz e trigo, além da casca de arroz, constituem um subproduto inevitável da colheita e do beneficiamento desses grãos. Essa biomassa pode ser coletada e usada como combustível para gerar calor ou eletricidade. **Em 2023, o volume disponível de biomassa residual agrícola superou 120 Mtep. Esse potencial deverá ultrapassar 271 Mtep em 2055**, um acréscimo de mais de 2 vezes. A maior contribuição virá das palhas de milho e soja, impulsionadas pela expansão dessas lavouras, enquanto arroz e trigo apresentam crescimentos mais modestos².

Figura 8: Projeção do conteúdo energético disponível pela biomassa residual de pecuária, em Mtep



Fonte: Elaboração própria, a partir de projeções de MAPA (2024).

Figura 9: Projeção do conteúdo energético disponível pela biomassa residual agrícola, em Mtep



Fonte: Elaboração própria, a partir de projeções de MAPA (2024).

¹ Para a evolução de rebanhos da pecuária, cujas projeções feitas são de disponibilidade de carne, ovos e leite, houve a conversão de carne em número de cabeças abatidas, com base em fatores típicos, chegando-se ao rebanho utilizando a taxa de abate típica.

² Para evolução da produção agrícola adotou-se o limite superior das projeções realizadas por MAPA (2024), a partir desse patamar, as curvas foram prolongadas linearmente até 2055.

Mudança nos hábitos de consumo pode reduzir resíduos sólidos urbanos, enquanto metas no saneamento podem impulsionar o potencial energético dos efluentes

Resíduos sólidos urbanos

A produção de resíduos sólidos urbanos cresce junto com a população e a renda, mas o seu valor energético depende sobretudo da fração orgânica presente em cada tonelada descartada, componente que varia segundo fatores socioeconômicos, culturais e regionais¹.

O volume total de resíduos continuará a crescer, mas a proporção de matéria orgânica deve encolher significativamente.

Esse deslocamento, que pode ser verificado na Tabela 6, reflete a trajetória observada em economias de maior renda: à medida que a sociedade adota dietas mais processadas e amplia a coleta seletiva, a participação de restos de alimentos e outros materiais biodegradáveis diminui. **Esse comportamento reduz ligeiramente o conteúdo energético: de 1,8 Mtep em 2022 para aproximadamente 1,7 Mtep em 2055.**

¹ Para estimar a oferta futura, cruzaram-se as projeções de PIB do PNE 2050 e de população do IBGE até 2055 com as taxas de geração per capita publicadas pela ABRELPE (2022) e a composição média indicada pelo SINIR (2024).

Efluentes sanitários urbanos

No caso dos efluentes sanitários urbanos, a disponibilidade de biomassa foi projetada considerando: (i) a taxa de atendimento da rede de coleta de esgoto, (ii) a produção de resíduos líquidos gerados por pessoa, e (iii) o teor de sólidos orgânicos. Partiu-se do índice de atendimento de 63,2% medido pela PNAD/IBGE em 2020 e adotou-se a meta estabelecida pelo novo marco do saneamento (Lei nº 14.026/2020) de 90% em 2033, avançando até a universalização em 2040. Considerando essas premissas, **o potencial energético contido nos efluentes deverá dobrar no horizonte do PNE 2055: de cerca de 0,5 Mtep em 2020 para 1,0 Mtep em 2055.**

Tabela 6: Projeção da geração de resíduos sólidos urbanos, *per capita* e composição

Ano	Produção (mil t)	Produção per capita (kg/d)	Orgânico (%)	Papéis (%)	Plásticos (%)	Vidros (%)	Metais (%)	Outros (%)	Energia (Mtep)
2022	81.811	1,04	45,3	10,4	16,8	2,7	2,3	22,5	1,80
2025	86.296	1,08	43,7	12,8	17,4	3,0	2,5	20,6	1,83
2030	93.528	1,14	40,9	16,7	18,3	3,5	2,7	15,5	1,86
2035	100.338	1,20	38,2	20,1	19,0	3,9	2,9	14,4	1,86
2040	106.617	1,26	35,5	24,9	20,1	4,6	3,2	11,3	1,84
2045	112.285	1,32	32,7	29,0	21,1	5,1	3,5	8,1	1,78
2050	117.275	1,38	30,0	33,0	22,0	5,6	3,7	5,0	1,71
2055	116.381	1,38	30,0	33,0	22,0	5,6	3,7	5,0	1,70

Fonte: Elaboração própria.

Do extrativismo à silvicultura, florestas plantadas lideram o potencial energético florestal com o avanço da lenha e do licor preto da indústria de celulose

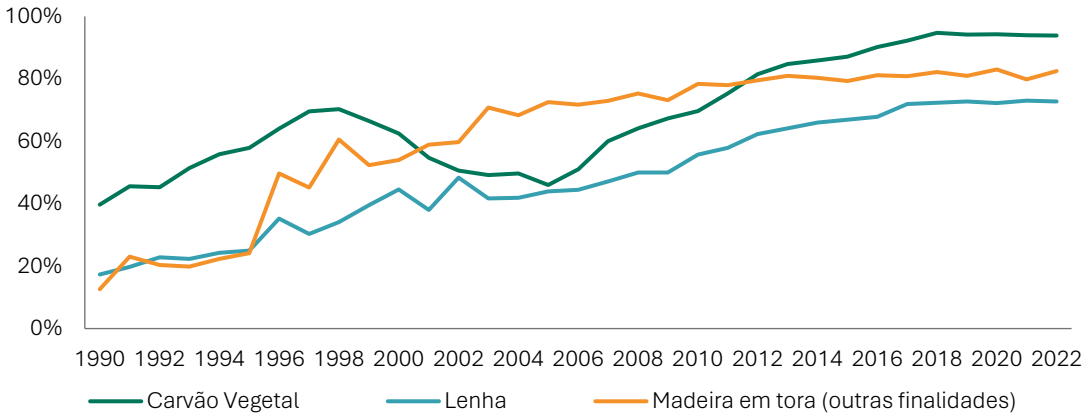
Biomassa florestal

O setor florestal brasileiro reúne duas frentes distintas. A primeira é o extrativismo de florestas nativas, voltado a madeiras de maior valor agregado para móveis, construção e usos industriais nobres, altos valores desses produtos. Estes foram retirados da análise para o mercado energético. A segunda é a silvicultura que fornece os três insumos energéticos que foram analisados neste estudo: lenha, carvão vegetal e madeira em tora.

Ao longo das últimas três décadas, a origem dos principais insumos florestais para energia no Brasil passou por uma reversão estrutural: enquanto nos anos 1990 predominava o extrativismo de florestas nativas, **hoje a maior parte da lenha, carvão vegetal e madeira em tora provém de florestas plantadas.**

Os cálculos indicam que **o conteúdo energético disponível na silvicultura pode mais que dobrar no horizonte do PNE 2055**, saltando de aproximadamente 30 Mtep em 2022 para cerca de 70 Mtep em 2055, com destaque para o avanço da lenha e do licor preto gerado na indústria de celulose¹.

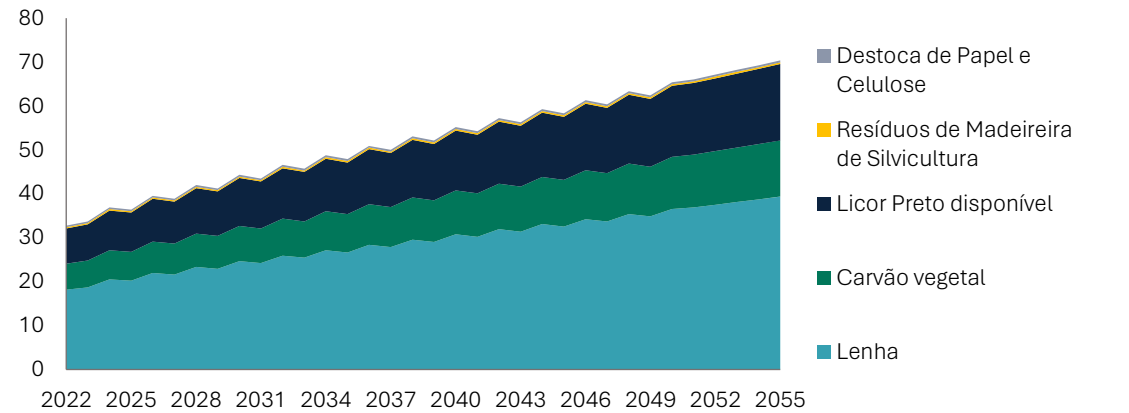
Figura 10: Participação dos produtos florestais plantadas (silvicultura) na produção florestal, de 1990 a 2022



Fonte: Elaboração própria, a partir de IBGE (2022).

¹ Para projetar o potencial energético da biomassa de silvicultura, tomou-se a participação média desses itens nos últimos dez anos, período em que a madeira destinada a papel e celulose respondeu por cerca de 41 %, segundo a base SIDRA/IBGE. Essa estrutura foi aplicada ao volume futuro de florestas plantadas estimado pelo MAPA até 2055.

Figura 11: Potencial energético dos produtos de florestas plantadas, em Mtep



Fonte: Elaboração própria, a partir de MAPA (2024).

Perspectivas de ganho de produtividade e intensificação do setor pecuário podem reforçar os resíduos agrícolas como insumo estratégico para bioenergia

Estima-se que o potencial de biomassa possa alcançar 614 Mtep em 2055, impulsionado principalmente pelos resíduos agrícolas, superando em mais do que o dobro o consumo final de energia de 2024, que totalizou 288 Mtep (EPE, 2025).

Esse aumento decorre, sobretudo, de ganhos de produtividade no campo e da intensificação da pecuária, que eleva o número de cabeças por hectare e libera áreas atualmente ocupadas por sistemas extensivos, evitando novos desmatamentos. Parte dessas biomassas, como resíduos agrícolas, bagaço e lenha, pode ser utilizada diretamente como combustível, outras, entre elas os resíduos pecuários e urbanos, exigem pré-processamento para a produção de biogás ou biometano. Nestes casos, a estimativa do potencial energético foi feita com base no potencial de produção de biogás a partir destas biomassas.

No horizonte do PNE 2055, a biomassa residual agrícola deverá responder por 271 Mtep, consolidando-se como a principal fonte para oferta de bioenergia. Na sequência vêm os produtos da cana-de-açúcar (bagaço, caldo dedicado ao etanol e palha/ponta) que somarão 184 Mtep, óleos e gorduras destinados ao biodiesel, com 55 Mtep, biomassa florestal oriunda de silvicultura sustentável adicionando 70 Mtep, e resíduos da pecuária, convertidos em biogás, com mais 18 Mtep.

Esses números revelam que existe amplo espaço para ampliar a participação de energéticos renováveis na matriz brasileira.

Dois grandes blocos concentram vantagens competitivas: a indústria sucroalcooleira, que conta com infraestrutura produtiva e mercado consolidados, e a biomassa residual, cuja valorização eleva a produtividade econômica de setores agropecuário, florestal e urbano ao transformar subprodutos em energia, reduzindo impactos ambientais locais.

Tabela 7: Potencial de produção de biomassa em 2023 e 2055, em Mtep

Biomassa	2023 (Mtep)	2055 (Mtep)
Bagaço da cana	38,9	83,4
Palhas e pontas da cana	32,5	69,7
Caldo de cana para etanol	15,0	28,7
Vinhaça de etanol de cana	1,6	3,1
Etanol de milho	3,8	68,2
Gorduras para biodiesel	24,9	54,9
Resíduos da pecuária	19,9	17,8
Resíduos agrícolas	120,9	271,8
RSU - Biodigestão da fração orgânica	1,8	1,7
RLU – Biodigestão da fração orgânica do esgoto	0,5	1,0
Biomassa florestal convencional	33,7	70,4
Bioenergia total	293,5	670,7

Fonte: Elaboração própria.

5

Energia solar

“Dá o sol, de onda forte, dá que dá, a luz tanta machuca.” – João Guimarães Rosa. Grande Sertão: Veredas, 1956.

O Brasil possui condições vantajosas para o aproveitamento do recurso solar por estar quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio

O homem se aproveita há milênios da energia proveniente do Sol. No início do processo de civilização, a apropriação da energia pela humanidade se deu através da agricultura e da pecuária, as quais por meio do aproveitamento controlado da fotossíntese e da cadeia alimentar processam a energia direta do Sol (SAUER et al., 2011). Além do citado, há diversas outras maneiras de aproveitamento da energia solar, sendo a iluminação, talvez, a mais evidente delas para a população.

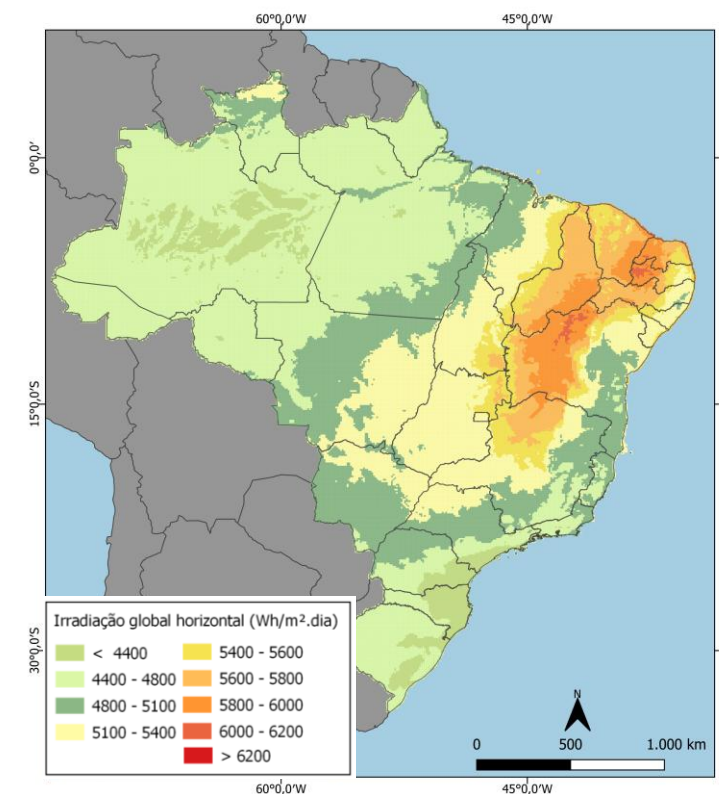
A despeito das muitas aplicações para essa forma de energia, **os estudos do PNE 2055 consideraram as aplicações derivadas do calor e do efeito fotovoltaico.**

O Brasil está situado quase que totalmente na região limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio, de incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição propicia elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao País condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar.

Principais tipos de aproveitamento

- **Fotovoltaica:** o aproveitamento fotovoltaico converte diretamente a luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, geralmente feitas de silício. Essa tecnologia tem experimentado grande desenvolvimento nos últimos anos em função do baixo custo, modularidade, facilidade de instalação, baixa necessidade de manutenção, longa vida útil e a não emissão de gases de efeito estufa durante a operação.
- **Heliotérmica:** essa tecnologia utiliza espelhos ou lentes para concentrar a luz solar e aquecer um fluido, gerando vapor que movimenta turbinas para produzir eletricidade. Esta tecnologia apresenta maior complexidade para a seleção dos possíveis sítios de geração e é menos modular que a fonte fotovoltaica. Por outro lado, possui a vantagem de maior flexibilidade operativa quando combinada com armazenamento térmico.
- **Aquecimento d'água:** a tecnologia de aquecimento solar de água utiliza coletores solares, geralmente instalados nos telhados, para captar a radiação solar e aquecer a água que circula por tubulações. Essa água aquecida é armazenada em reservatórios térmicos para uso em residências, comércios ou indústrias, reduzindo o consumo de eletricidade ou gás em sistemas convencionais de aquecimento.

Figura 12: Mapa da irradiação solar horizontal (média anual) no Brasil



Fonte: Adaptado de INPE (2017).

O aproveitamento fotovoltaico, seja através de plantas distribuídas ou centralizadas, possui grande potencial no Brasil

Fotovoltaica distribuída

O aproveitamento fotovoltaico através de sistemas de geração distribuída (GD) tem maior flexibilidade locacional. Uma grande vantagem desses sistemas é o compartilhamento de área, como a aplicação sobre telhados, fachadas e coberturas de estacionamento. Por outro lado, a legislação brasileira permite sistemas de GD remotos, afastados do local de consumo. Assim, pode-se afirmar que há enorme flexibilidade para o aproveitamento fotovoltaico distribuído no Brasil.

Um estudo específico para o aproveitamento em telhados residenciais, que estimou a área disponível no País, **identificou um potencial de geração anual de 34 Mtep.** Os resultados mostram que os maiores potenciais de geração, em termos absolutos, estão nas regiões mais povoadas do País, onde uma possível menor irradiação é sobrepujada pelo maior número de domicílios e, consequentemente, maior área de telhados. No entanto, salienta-se que, em tese, atualmente todos os estados teriam condição de suprir seu consumo elétrico residencial de forma integral com o advento da energia fotovoltaica.

Os estudos demonstraram que **a área não é fator limitante para a massiva inserção de sistemas fotovoltaicos distribuídos no Brasil no horizonte 2055.**

Fotovoltaica centralizada

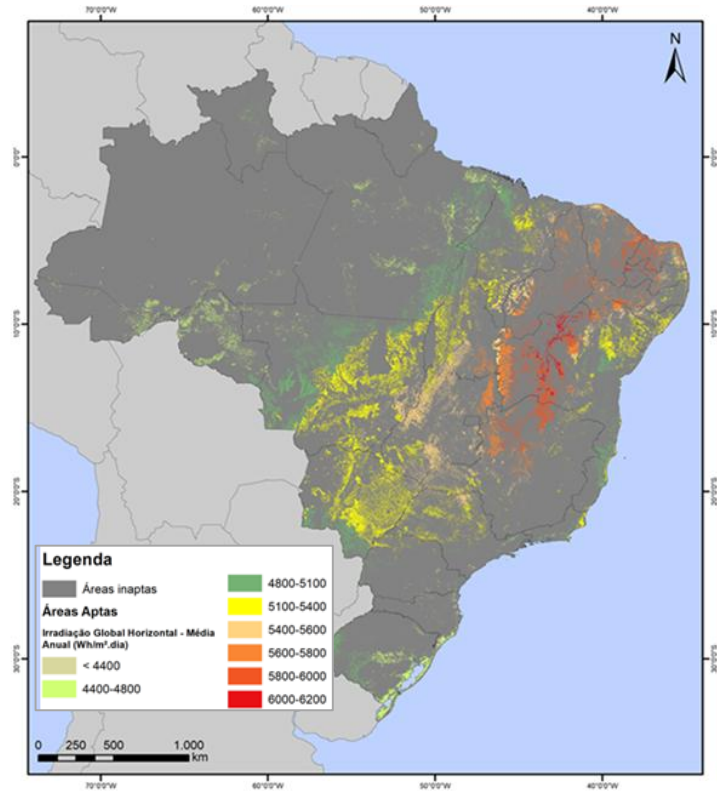
Em aplicações centralizadas, são utilizadas grandes áreas planas e contíguas para o aproveitamento fotovoltaico (FV). Nesse caso, comparativamente, há maiores restrições para o desenvolvimento de projetos. No PNE 2055 foi realizada uma estimativa do potencial a partir de um mapeamento das áreas aptas às instalações em todo território brasileiro. Foram utilizados critérios técnicos, econômicos e socioambientais para delimitar as áreas aptas ao aproveitamento (Figura 13). **Conclui-se que somente na área de melhor irradiação, há um potencial de 149 Mtep/ano.**

Tabela 8: Potencial energético em plantas FV centralizadas

Faixa de irradiação (kWh/m ² dia)	Área Apta (km ²)	Potencial (GW)	Energia Gerada (Mtep/ano)
4,4-4,8	79.855	4.314	750
4,8-5,1	180.658	9.756	1.782
5,1-5,4	269.851	14.572	2.790
5,4-5,5	86.603	4.677	920
5,5-5,6	31.923	1.724	355
5,6-5,8	91.780	4.956	1.046
5,8-6,0	63.953	3.453	767
6,0-6,2	12.038	650	149
Total	843.696	44.101	8.559

Fonte: Elaboração própria.

Figura 13: Áreas aptas para implantação de centrais fotovoltaicas no Brasil



Fonte: Elaboração própria.

Aplicações flutuantes surgem como estratégias complementares ao aproveitamento em solo

Fotovoltaica em reservatórios

Outra forma de aproveitamento do recurso solar é por meio de sistemas fotovoltaicos flutuantes, em espelhos d’água. Tal aplicação vem ganhando relevância por meio de projetos-piloto já instalados ou previstos para os reservatórios de algumas hidrelétricas nacionais.

Uma análise realizada por Padilha et al. (2022) concluiu que, **ao considerar a cobertura de apenas 1% das áreas aptas para essa tecnologia, o que é uma estimativa conservadora, poderia suprir 16,5% do consumo nacional de eletricidade.**

Tabela 9: Potencial energético em plantas FV flutuantes por tipo de corpo d’água

Tipo de corpo d’água	Potencial (MW)	Energia (Mtep/ano)
Açude/Represa	6.219	1,02
Riacho/Canal/Rio	169	0,02
Bacia/Cava/Dique/Reservatório/Tanque	30	0,00
PCH/CGH	671	0,10
UHE	31.520	4,93
Lago/Lagoa	127	0,02
Sem classificação	4.541	0,72
Total	43.276	6,82

Fonte: Padilha et al. (2022).

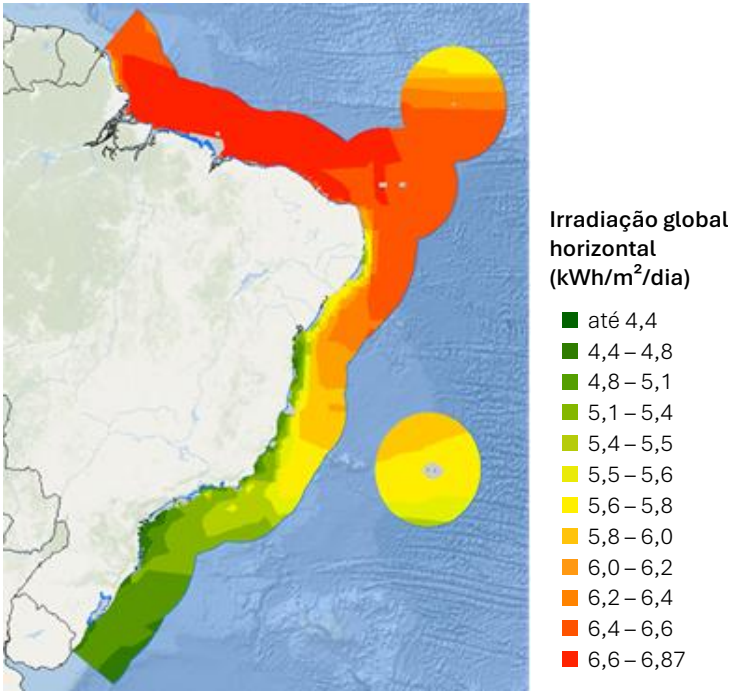
Fotovoltaica offshore

Além dos sistemas flutuantes em reservatórios de água doce, surgem internacionalmente alguns pilotos de sistemas *offshore*, ou seja, sobre o mar. A principal aplicação desses sistemas é o atendimento de pequenas ilhas com restrição de terras para o aproveitamento fotovoltaico em solo. No entanto, **com cerca de um quarto da população brasileira vivendo em cidades litorâneas, a geração fotovoltaica *offshore* pode ser uma solução para o atendimento elétrico dessas zonas** com reduzido investimento em linhas de transmissão.

Apesar do grau de incipiência dessa aplicação fotovoltaica, a EPE buscou realizar um exercício de quantificação do potencial técnico de geração *offshore*, com base em dados de irradiação e restrições ambientais. A área considerada no estudo é composta pelo Mar Territorial, a Zona Contígua e a Zona Exclusiva Econômica - ZEE brasileira.

De forma análoga aos demais estudos de FV, o potencial final indicado considera somente 1% da área de maior irradiação (acima de 6,5 kWh/m²/dia). **Essa análise resulta em um potencial de 52 Mtep/ano, que é aproximadamente igual ao consumo nacional de eletricidade em 2024 (EPE, 2025).**

Figura 14: Mapa para aproveitamento fotovoltaico offshore na ZEE brasileira¹



Fonte: Elaboração própria.

¹ O estudo e mapa apresentados foram elaborados antes do reconhecimento oficial da ampliação da área marítima brasileira (em março de 2025).

A tecnologia heliotérmica, embora menos desenvolvida comercialmente, também possui vasto potencial técnico, dados os elevados níveis de irradiação normal direta no Brasil

Heliotérmica

O potencial foi levantado por Burgi (2013) a partir de modelagem em SIG e simulação de plantas virtuais. Basicamente, foram avaliadas as áreas aptas para instalação das plantas, aplicando critérios de exclusão, como nível mínimo de irradiação, declividade máxima, proximidade de subestações, disponibilidade hídrica, Unidades de Conservação, Terras Indígenas, entre outros.

O potencial, apontado pela Tabela 10, varia de acordo com o tipo da tecnologia. Apesar de conservador, o menor potencial encontrado (359 TWh/ano) representa mais que o consumo atual de eletricidade na Região Sudeste.

Tabela 10: Potencial energético nacional em plantas heliotérmicas

Tecnologia	Potencial (GW)	Energia gerada (Mtep/ano)
Cilindro parabólico (sem armazenamento)	413	63
Cilindro parabólico (com armazenamento)	203	57
Torre solar (com armazenamento)	98	31

Fonte: Burgi (2013).



Usina Termossolar em Rosana (SP) – Projeto Piloto. Fonte: Auren/Divulgação.



6

Energia oceânica

“As ondas corriam umas sobre as outras. Isso dentro da baía, antes mesmo do quebra-mar. Como não estaria então lá fora, adiante da barra, onde o mar fosse livre?” – Jorge Amado. Mar Morto, 1936.

A extensa costa brasileira e as vastas áreas de mar territorial são condições naturais que abrem plenas possibilidades para o aproveitamento energético dos recursos do mar

O amplo potencial dos recursos energéticos do mar tem atraído atenção e interesse crescentes das comunidades científicas e governamentais. Embora a tecnologia para essa energia seja recente e ainda em vias de ser comercial, **o aproveitamento dos recursos do mar apresenta-se promissor** em função de diversos fatores, dentre os quais suas extensas áreas, a distribuição mundial dos oceanos e, principalmente, a alta densidade energética (UFRJ e SEAHORSE WAVE ENERGY, 2013).

As principais formas de aproveitamento da energia oceânica incluem:

- **Energia das ondas**, que utiliza o movimento da superfície do mar para gerar eletricidade por meio de dispositivos flutuantes ou submersos;
- **Energia das marés**, que explora o fluxo e o refluxo das marés em regiões costeiras por meio de barragens ou turbinas submersas;
- **Energia das correntes oceânicas**, que aproveita o movimento contínuo das massas de água profundas ou superficiais para acionar turbinas;
- **Gradiente térmico oceânico**, baseado na diferença de temperatura entre as camadas superficiais quentes e profundas frias, pode ser explorado para mover um fluido de trabalho e gerar eletricidade;

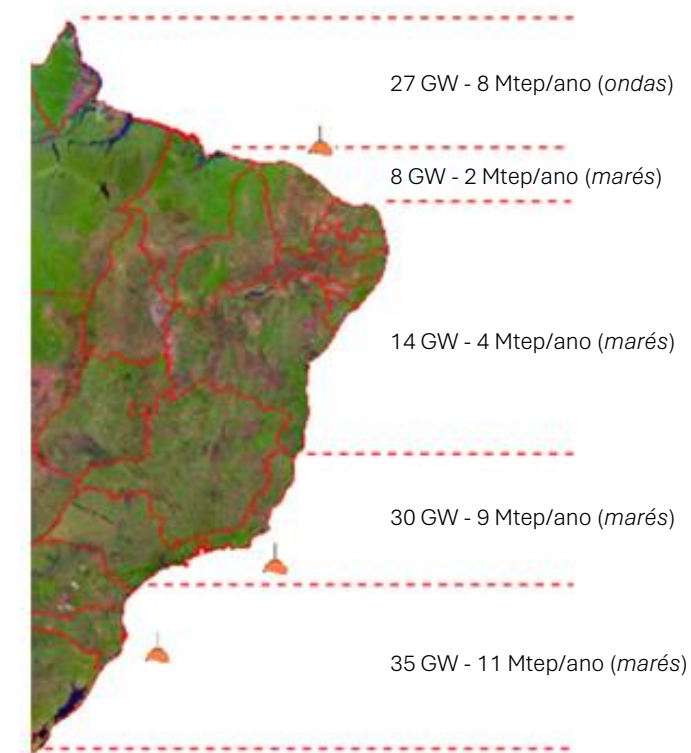
- **Gradiente de salinidade**, diferença na concentração de sal entre água doce e salgada – pode ser convertido em energia elétrica por meio de processos como a osmose reversa ou eletrodialise.

Potencial nacional

Estudo conduzido pela COPPE/UFRJ e Seahorse Wave Energy (2013) levantou o potencial teórico brasileiro de energia oceânica. O estudo foi realizado através de medições *in situ* e em literatura sobre o tema. A estimativa partiu da extensão do litoral de cada estado e da altura significativa de onda média e período médio no ano. Assim, **o potencial brasileiro de ondas e marés é estimado em 34 Mtep/ano**, conforme Figura 20. Como ordem de grandeza, esse valor é próximo ao consumo de eletricidade das regiões Sul e Sudeste em 2024 (EPE, 2025).

Do ponto de vista teórico, pode-se considerar conservador o potencial ora apresentado, tendo-se em conta ter sido quantificado para o aproveitamento das ondas e marés apenas, e que a inclusão das demais alternativas discutidas anteriormente poderá expandi-lo. Porém, uma análise mais detalhada deve ser realizada para uma estimativa mais acurada dos melhores sítios para aproveitamento e a capacidade de geração correspondente. Assim, a presente avaliação é de caráter preliminar.

Figura 15: Potencial teórico brasileiro estimado de ondas e marés



Fonte: Adaptado de UFRJ & SEAHORSE WAVE ENERGY (2013).
Nota: Geração anual calculada a partir de um fator de capacidade de 40%.



7

Hidrogênio natural

*“Minas não é palavra montanhosa / É palavra abissal
Minas é dentro e fundo / As montanhas escondem o que é Minas.”
– Carlos Drummond de Andrade. A Palavra Minas, 1973.*

Hidrogênio natural já apresenta indícios no Brasil, entretanto mais estudos são necessários para comprovar seu real potencial

Estudos apontam o hidrogênio (H₂) como fonte relevante para alcançar os objetivos climáticos globais, sobretudo na descarbonização de setores de difícil abatimento, como certos ramos industriais e o transporte de longa distância (IEA, 2023b). Dentro do espectro conhecido internacionalmente como “arco-íris do hidrogênio”, o hidrogênio branco (também chamado de geológico ou natural) **destaca-se não somente por ser uma fonte renovável, mas também pelas vantagens sobre as rotas manufaturadas: maior pureza, menor pegada de carbono, custos (estimados) mais baixos e menor consumo de água e energia.**

Apesar do interesse global pelo energético, atualmente o Mali, na África, é o único país com produção industrial de hidrogênio natural, com uma capacidade estimada de 547,5 mil m³ de H₂ por ano (MAIGA, 2023).

No Brasil já existem localidades com indícios de potencial exploratório de hidrogênio natural, como Minas Gerais (Bacia do São Francisco), Rio de Janeiro (Maricá) e Rio Grande do Sul (Bacia do Paraná) registradas em artigos científicos publicados nesta década. Vale destacar ainda que especialistas identificaram outras potenciais áreas para ocorrência de hidrogênio natural nos estados da Bahia, Ceará, Goiás, Mato Grosso, Roraima e Tocantins. O mapeamento ainda é incipiente, uma vez que muitas outras regiões nunca foram estudadas.

Como exercício preliminar de quantificação, adotou-se um conjunto de premissas extraídas da literatura recente para dimensionar, em ordem de grandeza, o potencial brasileiro de produção de hidrogênio natural. Com base nesses parâmetros, **o Brasil poderia atingir em torno de 15 milhões de toneladas por ano, volume equivalente a quase 4% da demanda mundial projetada para 2050** (MCKINSEY & COMPANY, 2024; IEA, 2023c; IEA, 2023d; PWC, 2023).

Considerando a densidade gravimétrica de energia do hidrogênio – 143 MJ/kg (TASHIE-LEWIS et al., 2021), tal **produção corresponderia a aproximadamente 52 Mtep.** Entretanto, as evidências disponíveis, obtidas em poucas localidades e sob forte incerteza geológica, não permitem estimar de forma robusta o real potencial brasileiro.

As publicações atuais ressaltam a complexidade da mensuração e a necessidade de estudos adicionais que ampliem a cobertura espacial, aumentem a densidade de sensores ou, alternativamente, utilizem períodos de monitoramento mais extensos, além da necessidade de definição de um marco legal e regulatório adequado. A clareza sobre direitos de exploração, segurança operacional e padrões ambientais será decisiva para atrair investimentos e transformar o potencial técnico em oferta comercial.

Nota: Esta seção apresenta exclusivamente o potencial de hidrogênio natural, por se tratar de um recurso adicional aos demais aqui apresentados. O potencial de produção de hidrogênio a partir de outras fontes não é considerado, uma vez que se trata de um processo de transformação e não de disponibilidade direta de recurso.

Figura 16: Distribuição espacial dos estudos publicados e projetos em avaliação para a exploração de H₂ natural no Brasil destacando as três regiões que apresentaram indícios da presença de hidrogênio



Fonte: Elaboração própria.



8

Energia geotérmica

“ O fogo subterrâneo ferveu nas entranhas da terra, e rasgando-lhe os flancos, arremessou aqui e ali pelas encostas aqueles enormes calhaus ou maciços de rocha, fragmentos da primeira carcaça do globo.” – José de Alencar. Sonhos D’Ouro, 1872.

A energia geotérmica converte gradientes naturais de temperatura em calor, eletricidade e climatização, com potencial de ser ampliado por tecnologias emergentes

O que é energia geotérmica

A energia geotérmica corresponde ao aproveitamento do calor naturalmente presente no interior da Terra, originado tanto de processos remanescentes da formação do planeta quanto da decomposição contínua de isótopos nas rochas. À medida que esse calor se propaga para a superfície, ele aquece águas subterrâneas, rochas e reservatórios geológicos, criando gradientes térmicos que podem ser convertidos em energia útil.

A geotermia utiliza condições naturais do subsolo para aproveitar calor ou produzir eletricidade, sendo uma fonte renovável, contínua e de baixa emissão (IEA, 2024f). Sua exploração também se beneficia de forte familiaridade com práticas do setor de óleo e gás, como perfuração de poços, caracterização de reservatórios, testes de pressão e temperatura e interpretação geológica, o que reduz barreiras técnicas e amplia sinergias operacionais.

Principais aplicações

Globalmente, a energia geotérmica é usada principalmente para aquecimento e resfriamento de edifícios, por meio de bombas de calor geotérmicas e redes de aquecimento distrital, além de aplicações diretas em estufas agrícolas, aquicultura, processos

bem-estar e usos industriais de baixa temperatura. Em 2023, seu uso total atingiu cerca de 5 EJ, equivalente a 0,8% da demanda energética mundial (IEA, 2024f).

A geração elétrica geotérmica, presente em aproximadamente 30 países, alcançou quase 100 TWh em 2023, operando com altos fatores de capacidade e contribuindo para a integração de fontes renováveis variáveis às redes elétricas (IEA, 2024f). Embora ainda seja uma das fontes renováveis menos exploradas, a geotermia oferece grande potencial para diversificação das matrizes de energia térmica e elétrica, especialmente em regiões com características tectônicas favoráveis.

Tabela 11: Aplicações da energia geotérmica por faixa de temperatura

Temperatura do reservatório	Aplicação
Superiores a 150 °C	Geração elétrica
Entre 90 °C e 150 °C	Aquecimento, climatização, processos industriais
Inferiores a 80 °C	Balneários, turismo, lazer, aquecimento de piscinas

Fonte: Adaptado de (Dincer, 2018).

Novas tecnologias

Com o avanço das tecnologias de geotermia de próxima geração, como sistemas geotérmicos aprimorados (EGS) e circuitos de loop fechado, a profundidade deixa de ser uma limitação tão rígida. Técnicas de estimulação hidráulica e fraturamento de rochas (*fracking*) permitem criar ou melhorar a permeabilidade de reservatórios profundos e de baixa condutividade natural, tornando possível aproveitar calor geológico em uma gama muito maior de profundidades e contextos geológicos (IEA, 2024f).

Isso amplia significativamente a disponibilidade potencial de recursos geotérmicos e aproxima ainda mais essa fonte energética de competências já consolidadas no setor de óleo e gás, especialmente nas áreas de perfuração, completção e engenharia de reservatórios.

Com clima quente e alta demanda por refrigeração, o Brasil tem na geotermia de baixa entalpia sua aplicação mais estratégica

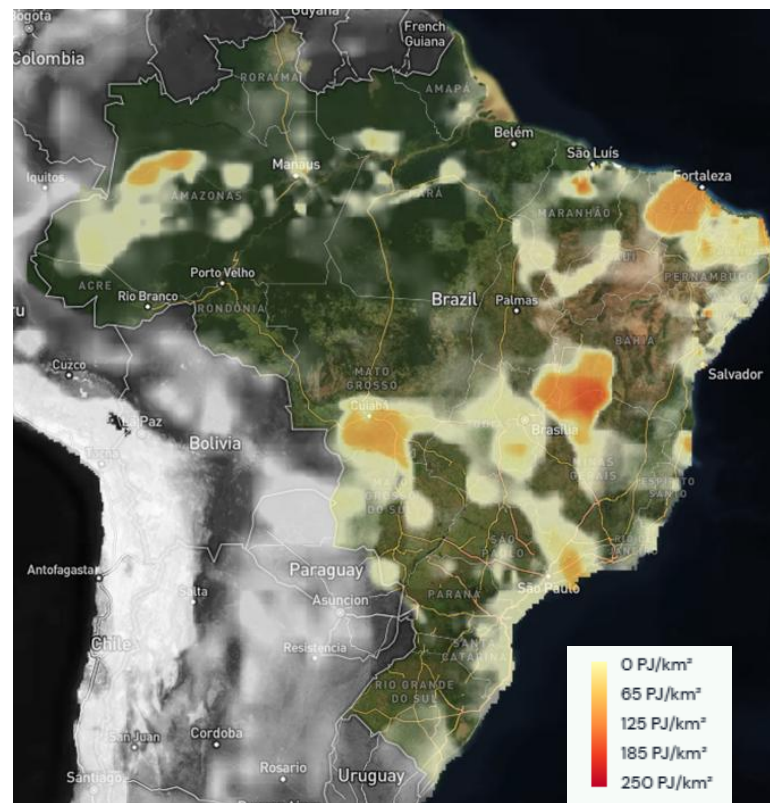
Aplicações com maior potencial no Brasil

A geotermia surge como uma alternativa de diversificação para a matriz energética nacional. No entanto, há barreiras técnicas, econômicas e regulatórias que precisam ser superadas para o seu aproveitamento.

Adicionalmente, a avaliação do seu potencial no Brasil ainda se encontra em estágio preliminar. Nesse sentido, a EPE adotou neste estudo uma abordagem qualitativa, reconhecendo a necessidade de estudos futuros para quantificar o potencial geotérmico nacional.

Estudo antigos, como o de Arboit et al. (2013), indicam que o país dispõe de poucas áreas com temperaturas médias e altas adequadas para geração elétrica geotérmica ou para usos industriais de média entalpia. Diante dessa indicação para aplicações tradicionais, **aparecem com relevância soluções geotérmicas de baixa entalpia, especialmente aquelas voltadas para resfriamento de água em sistemas de climatização**. De todo modo, cabem estudos atualizados para verificar aproveitamentos adicionais.

Figura 17: Mapa do potencial geotérmico em PJ/km² considerando 5km de profundidade e temperaturas superiores a 150 °C.



Fonte: Adaptado de (Project Innerspace, 2025)

Geotermia para climatização e eficiência energética

A utilização de trocadores de calor subterrâneos integrados a sistemas HVAC (*Heating, Ventilation, Air Conditioning*) vem ganhando protagonismo em Data Centers, edifícios comerciais, shopping centers e instalações industriais em diversos países da Europa, Ásia e nos Estados Unidos. Essa tecnologia pode substituir, ou complementar, o resfriamento convencional por torres de ar, que consomem grandes volumes de água tratada e realizam a troca térmica diretamente com a atmosfera. Ao utilizar o subsolo como dissipador térmico em um circuito fechado, elimina-se a evaporação de água, reduzem-se as demandas hídricas e obtêm-se ganhos de eficiência energética. Em Data Centers, onde a climatização representa parcela expressiva dos custos operacionais, a geotermia se configura como alternativa técnica de boa aplicabilidade.

No contexto brasileiro, marcado por clima predominantemente quente e elevada necessidade de refrigeração em ambientes urbanos e industriais, a geotermia de baixa entalpia desponta como uma aplicação de grande potencial. Ainda assim, persistem desafios importantes, como o aprofundamento da caracterização das temperaturas subterrâneas e o entendimento do desempenho térmico e mecânico de trocadores enterrados, valas geotérmicas e estacas energéticas em diferentes condições climáticas. Esses avanços são essenciais para consolidar a viabilidade técnica e ampliar a difusão dessa tecnologia no país (Mazzutti, 2023).



9

Petróleo e gás natural

“Às vezes o que a gente procura, não é o que a gente procura. É o que a gente encontra.” – Chico Buarque de Hollanda



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

Os recursos ainda não descobertos de petróleo e gás devem promover a manutenção da produção ao final da década

O petróleo e o gás natural desempenham funções fundamentais na economia global e na segurança energética. **Em 2022, essas fontes corresponderam a aproximadamente 53% da matriz energética mundial** (IEA, 2023e), com destaque para o setor de transportes, que ainda depende majoritariamente de derivados do petróleo.

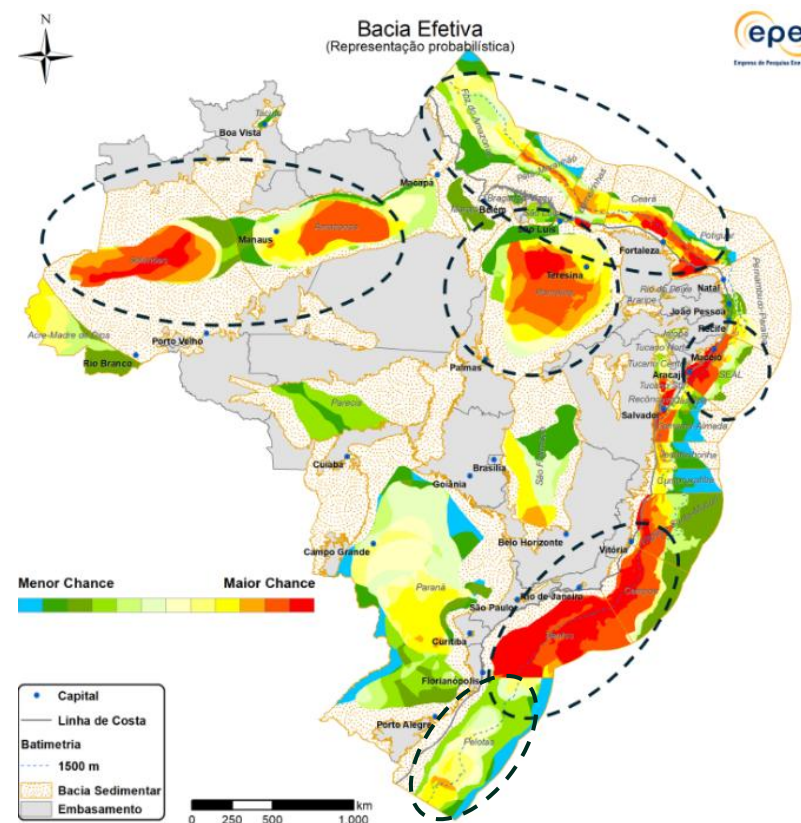
No contexto brasileiro, em 2024, o petróleo e o gás natural responderam por 43,6% da matriz energética nacional (EPE, 2025). Além de sua relevância econômica, esses recursos são considerados ativos estratégicos do ponto de vista geopolítico, sobretudo por sua capacidade de armazenamento e pela contribuição que oferecem à segurança no suprimento de energia.

Segundo o Caderno de Previsão da Produção de Petróleo e Gás Natural do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035 (PDE 2035), **a produção brasileira deverá alcançar o pico em 2031 para o petróleo e em 2033 para o gás natural**. A partir daí, projeta-se uma queda gradual até 2035, resultado do esgotamento natural dos campos em operação e da menor oferta de novas áreas exploratórias.

Os recursos que devem suprir e promover a manutenção da produção nos patamares do final do decênio são os ainda não descobertos, sobretudo os de áreas de fronteira exploratória.

As áreas sedimentares mais promissoras, identificadas com potencial e com expectativas de descobertas de hidrocarbonetos, **são, no ambiente terrestre, as bacias do Solimões, Amazonas, Parnaíba, Tucano Sul e Alagoas**. Por sua vez, **no ambiente marinho, as maiores expectativas são para as bacias de Santos, Campos, Sergipe-Alagoas (SEAL), Pelotas e a Margem Equatorial**, com destaque para as bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão e Potiguar.

Figura 18: Áreas de fronteira exploratória com potencial para hidrocarbonetos, com as chances de descobertas associadas



Fonte: Elaboração própria.

Bacias promissoras e reservas não convencionais podem impulsionar o futuro do gás natural no Brasil

Utilizado amplamente na geração de eletricidade, o gás natural destaca-se pela flexibilidade operacional das termelétricas a gás, que permitem complementar fontes intermitentes como solar e eólica. No setor industrial, é empregado como fonte térmica e como insumo na produção de fertilizantes, plásticos e outros produtos petroquímicos. O gás natural também é utilizado no transporte veicular, principalmente na forma de Gás Natural Veicular (GNV). Além disso, sua capacidade de armazenamento e despacho o torna um vetor importante para a segurança energética.

Recentes avanços regulatórios e de formação de mercado, somados à sinergia de programas governamentais voltados ao gás natural vêm fortalecendo o esforço exploratório no país.

O território brasileiro reúne áreas já em produção de gás natural associado, como vários campos do pré-sal com potencial de elevar a oferta, além de vastas bacias sedimentares ainda imaturas ou de fronteira cujo perfil geológico indica forte vocação para o gás natural.

Cabe ressaltar as extensas áreas com elevado potencial para novas descobertas de gás natural não associado, especialmente nas bacias de Sergipe-Alagoas (SEAL), Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná.

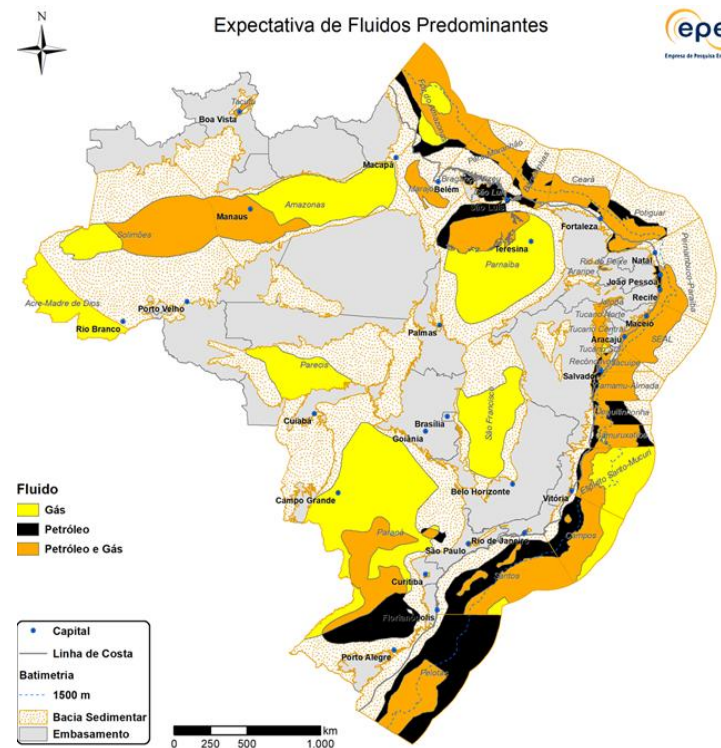
Potencial em reservatórios de gás natural não convencionais

Além dos volumes de gás natural associado e não associado, **o Brasil apresenta algumas bacias sedimentares com provável potencial a ser explorado em reservatórios não convencionais**. Bacias sedimentares como Parnaíba, Paraná, Solimões e Amazonas exibem características geológicas promissoras para o gás de folhelho, análogo ao *shale gas* norte-americano, abrindo possíveis novas frentes de pesquisa e produção.

De acordo com EIA (2011), **o Brasil figura como o décimo maior detentor de recursos de gás de folhelho do mundo, estimados em aproximadamente 6,9 trilhões de metros cúbicos (m³)**. Trata-se, porém, de um potencial obtido por analogia com formações semelhantes em outros países. Até hoje, esses volumes não foram confirmados em campo, pois o Brasil ainda não conduziu estudos específicos para esse tipo de reservatório.

Outro reservatório não convencional de interesse é o *tight gas* – isto é, gás aprisionado em rochas de baixa permeabilidade, que também pode ser alvo de estudos nas bacias do Recôncavo, São Francisco e Parecis.

Figura 19: Expectativa de fluidos predominantes segundo o Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás



Fonte: Elaboração própria.

Volumes recuperáveis de gás natural e petróleo podem garantir a oferta de óleo e gás até 2055 ...

O PNE 2055 adota, para os recursos convencionais, a mesma metodologia de projeção de produção empregada pela EPE em seus Planos Decenais de Expansão de Energia (PDE). Para garantir confiabilidade às estimativas, foram excluídos os volumes situados em áreas de elevada complexidade socioambiental.

O estudo contempla três categorias de recursos:

- **Reservas totais** – recursos descobertos, com comercialidade declarada.
- **Recursos contingentes** – recursos sob avaliação exploratória.
- **Potencial petrolífero ou recursos prospectivos** – recursos não descobertos.

Essas categorias abrangem tanto as áreas já contratadas por empresas quanto os blocos ainda pertencentes à União, com base no conhecimento geológico disponível sobre as bacias sedimentares brasileiras.

Os resultados do estudo projetam **volumes recuperáveis entre 48 e 54 bilhões de barris de petróleo e 3.533 a 3.797 bilhões de m³ de gás natural no horizonte do PNE 2055¹**. Em torno de 60% desses volumes têm alto grau de certeza, pois englobam parcelas das reservas 1P, 2P e 3P, enquanto o restante apresenta incerteza mais elevada.

¹ Estes resultados do estudo abrangem: reservas totais (recursos descobertos com comercialidade comprovada, que somam as categorias provadas, prováveis e possíveis), recursos contingentes em áreas contratadas, recursos ainda não descobertos em áreas contratadas em fase exploratória e recursos não descobertos, sem contrato, localizados em áreas da União.

Tabela 12: Volumes recuperáveis de petróleo projetados para 2055 e energia equivalente em Mtep

Recurso	Hipótese Referência (bilhões de barris)	Hipótese Referência (Mtep)	Hipótese Baixa (bilhões de barris)	Hipótese Baixa (Mtep)
Descoberto	32	4.516	32	4.516
Não descoberto	22	3.105	16	2.258
TOTAL	54	7.621	48	6.774

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13: Volumes recuperáveis de gás natural projetados para 2055 e energia equivalente em Mtep

Recurso	Hipótese Referência (bilhões de m³)	Hipótese Referência (Mtep)	Hipótese Baixa (bilhões de m³)	Hipótese Baixa (Mtep)
Descoberto	2.361	2.344	2.361	2.344
Não descoberto	1.436	1.425	1.172	1.163
TOTAL	3.797	3.770	3.533	3.508

Fonte: Elaboração própria.

Na hipótese de referência, **os cerca de 54 bilhões de barris projetados seriam suficientes para sustentar, até 2055, uma produção de petróleo superior à atual** – hoje em torno de 3 milhões de barris por dia. Os **3.797 bilhões de m³ estimados para o gás natural correspondem a recursos convencionais já descobertos ou ainda prospectivos**, sem incluir volumes não convencionais. Até 2055, **espera-se que haja um aumento da exploração de áreas mais propensas ao gás natural**, assim como é previsto o aumento desse energético na matriz energética brasileira.

... entretanto o índice R/P desperta atenção, já que os recursos descobertos com comercialidade comprovada seriam insuficientes para expandir a produção

O indicador estratégico R/P (relação entre reservas e produção) fornece subsídios sobre o tempo de esgotamento de reservas.

No caso do cálculo da R/P de reservas totais¹, o País disporia de 24 anos de petróleo e 29 anos de gás natural. Portanto, considerando-se o horizonte de 2055, a indicação é que **somente os recursos de petróleo e gás na categoria de recursos descobertos com comercialidade comprovada (reservas totais) seriam insuficientes para expandir a produção** e, no caso do gás natural, até mesmo para manter a produção apenas nos níveis atuais.

Em 2024, as reservas provadas² brasileiras totalizavam 16,8 bilhões de barris de petróleo e 546 bilhões de m³ de gás natural, ambas predominantemente localizadas em águas marítimas. Os correspondentes índices R/P eram de 14 anos para o petróleo e 21 anos para o gás natural, reforçando a necessidade de converter recursos adicionais em reservas produtivas para assegurar a segurança de suprimento no longo prazo.

¹ Reservas totais abrange as categorias provadas, prováveis e possíveis, não incluem recursos contingentes nem prospectivos.

² Reservas provadas são os volumes de petróleo e gás com maior grau de certeza geológica e viabilidade econômica, confirmada por estudos de geologia, engenharia e mercado, e considerada apta à produção comercial.

Tabela 14: Indicador (R/P): relação entre reservas e produção para petróleo

Categoria de Recurso Petróleo	Reservas/Produção (anos)
Reservas Totais	24
Reservas Provadas	14

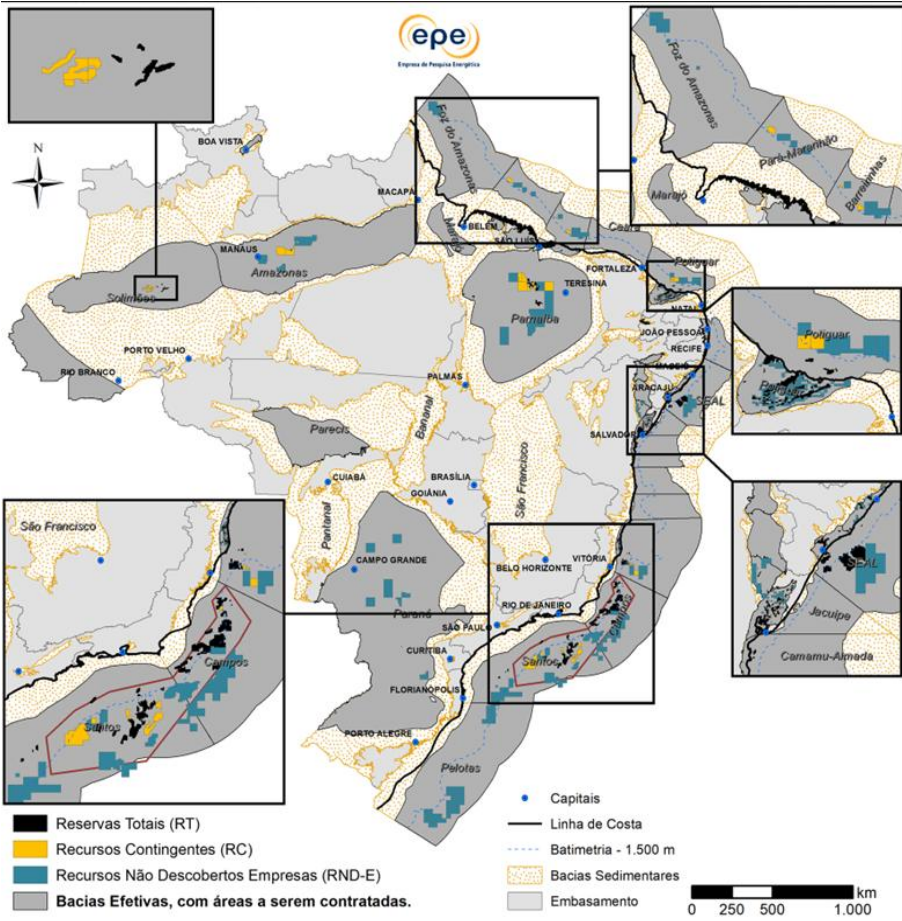
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15: Indicador (R/P): relação entre reservas e produção para gás natural

Categoria de Recurso Gás Natural	Reservas/Produção (anos)
Reservas Totais	29
Reservas Provadas	21

Fonte: Elaboração própria.

Figura 20: Unidades Produtivas de recursos convencionais em áreas contratadas e em áreas da União (não contratadas). Distribuição geográfica das UPs em áreas contratadas (RT, RC e RND-E) e em áreas de bacias efetivas da União, contendo UPs, categorizadas por tipo de recurso, e que consolidam as áreas prospectáveis no período do PNE 2055.



Fonte: Elaboração própria.

O potencial estimado para as bacias de novas fronteiras pode contribuir para a manutenção da produção brasileira de petróleo e gás

Nos últimos anos, a Margem Equatorial Brasileira, em especial a Bacia da Foz do Amazonas, e também mais recentemente a Bacia de Pelotas na Margem Continental Sul, vêm ganhando destaque no radar exploratório mundial.

Atualmente, a Bacia da Foz do Amazonas tem 26 blocos exploratórios contratados, e já teve iniciada a fase de perfuração de poços em pelo menos um deles. Já na Bacia de Pelotas existem 47 blocos com contratos exploratórios assinados, porém em fase mais inicial. Ambas impulsionadas pelas descobertas expressivas de petróleo em bacias vizinhas, como a Guiana e o Suriname, e em bacias análogas, como em Gana e Namíbia, na costa africana.

A razão não se restringe à proximidade geográfica ou analogias: essas bacias compartilham *plays* exploratórios semelhantes. Ou seja, um conjunto de condições geológicas que, quando favoráveis, eleva significativamente a probabilidade de novas descobertas.

A convergência dessas características coloca a Foz do Amazonas como uma das fronteiras mais promissoras para óleo e gás no País. **Estudos recentes conduzidos pela EPE, com apoio de consultoria especializada, estimam um volume “in place” com risco (recursos estimados no reservatório, em condições de superfície) da ordem de 23 bilhões de barris de óleo equivalente (EPE, 2024b).**

Este estudo foi realizado na porção noroeste da Bacia da Foz do Amazonas apresentando estimativas que alcançam 6 bilhões de barris de óleo equivalente recuperáveis que representam, apenas nessa área, mais de 50% do volume descoberto na Guiana. **Aproveitar esse potencial requer ação coordenada: combinar rigor ambiental, investimento tecnológico e planejamento estratégico.**





10

Carvão mineral

*“Alegro com brio. Tentarei tirar ouro do carvão” – Clarice Lispector.
A hora da estrela, 1977.*

Reservas nacionais de carvão garantem oferta para geração elétrica, mas suas características limitam o uso industrial frente a outras opções energéticas

Usos do carvão mineral no mundo

A despeito dos desafios impostos ao setor energético, em especial o aquecimento global e a busca por uma matriz energética cada vez mais renovável, **o carvão continua sendo a principal fonte para a geração de eletricidade no mundo**. No Brasil, por outro lado, a sua contribuição é relativamente baixa no setor elétrico.

No entanto, o seu uso vai além da geração de eletricidade. Como aponta a Tabela 16, o carvão em níveis de maior qualidade também é utilizado em aplicações industriais, como na siderurgia.

Tabela 16: Classificação do carvão mineral

Tipo	Teor de Carbono	Principais aplicações
Turfa	< 60 %	Uso doméstico local, raramente usado industrialmente
Linhito	60 a 75%	Termelétricas
Betuminoso (hulha)	75 a 85%	Termelétricas, coque para siderurgia
Antracito	> 90%	Aquecimento residencial e industrial, processos metalúrgicos.

Fonte: Elaboração própria de ABCM (2014).

Disponibilidade das reservas nacionais

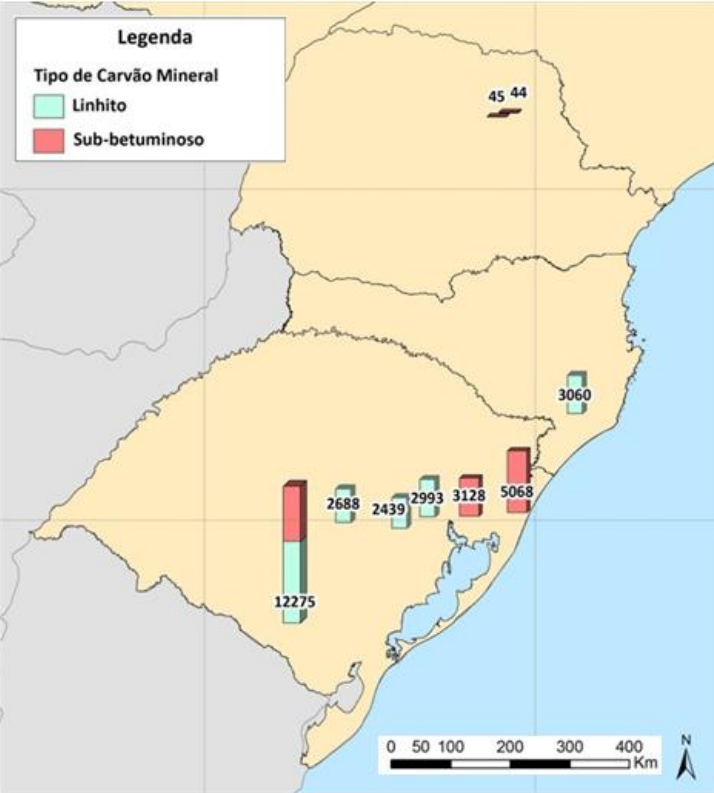
Os recursos carboníferos do Brasil são da ordem de 32 bilhões de toneladas e estão concentrados no sul do País, assim distribuídos: 90,1% no Rio Grande do Sul, 9,6%, em Santa Catarina e 0,3% no Paraná (DNPM, 2000), conforme mostra a Figura 21.

No entanto, **o carvão nacional, do tipo linhito e sub-betuminoso, é de baixo teor de carbono**. Essa característica faz com que seja utilizado principalmente para fins termelétricos. No caso de aplicações industriais, como na siderurgia, é utilizado carvão importado, em função da sua melhor qualidade.

Potencial de produção termelétrica

Para o PNE 2055, adotou-se uma abordagem conservadora, considerando exclusivamente as reservas medidas (aquelas com maior nível de certeza), estimadas em 26 bilhões de toneladas — o que equivale a 7.156 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). Nesse caso, estima-se que **as reservas nacionais atuais seriam suficientes para abastecer até 46 usinas termelétricas a carvão** com potência unitária de 500 MW, ou 23 GW instalados. Como referência, atualmente o Brasil possui cerca de 3 GW instalados. Portanto, as reservas nacionais seriam suficientes para atender uma grande expansão desse setor no país, caso necessário.

Figura 21: Recursos de carvão mineral (reservas totais e recursos marginais) – em mil toneladas



Fonte: Elaborado a partir de DPNM (2000).



11

Urânio

“Abertas as montanhas, rota a Serra, vê converter-se em ouro a pátria terra” – Cláudio Manuel da Costa. Vila Rica, 1773.

Com a oitava maior reserva de urânio do mundo, o Brasil reúne condições para um papel estratégico na cadeia nuclear global

A ótica estratégica

A energia nuclear no Brasil possui aplicações diversas, abrangendo áreas como medicina, indústria, agricultura, meio ambiente e, principalmente, a geração de energia elétrica.

Reconhecendo seu papel estratégico, **o governo brasileiro implementou programas visando o fortalecimento do setor por meio de políticas industriais, tecnológicas e regulatórias**. Destaca-se a revitalização do Programa Nuclear Brasileiro (PNB). Os objetivos estratégicos para o setor nuclear incluem a consolidação do Brasil como fabricante competitivo de combustível nuclear, com domínio de todas as etapas do ciclo produtivo, incluindo o comissionamento de usinas e a produção de equipamentos. Um marco importante é o projeto do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que busca garantir a autossuficiência na produção de radioisótopos, com investimentos previstos até 2026.

Cabe ressaltar que o Brasil, conforme o documento “Estratégia Nacional de Defesa” (BRASIL, 2016), elaborado pelo Ministério da Defesa, também reforça o comprometimento decorrente da Constituição Federal e da adesão ao Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares, do qual é signatário, **que garante o uso estritamente pacífico da energia nuclear**.

¹ Incluem as seguintes reservas geológicas: Campos Belos (TO), Rio Preto (TO), Espinharas (PB), Amarinópolis (GO), Quadrilátero Ferrífero (MG), Poços de Caldas (MG) e Figueira (PR).

O uso para a geração de eletricidade

A geração de eletricidade a partir da energia nuclear possui algumas características importantes no contexto de transição energética. A primeira é **a geração praticamente contínua, sem estar sujeita à variabilidade de recursos naturais**. A segunda é a baixa emissão de gases de efeito estufa durante a operação. Por fim, destaca-se a sua alta densidade energética e a possibilidade de instalação de usinas próximas aos centros de carga, reduzindo a necessidade de novas linhas de transmissão.

Disponibilidade das reservas nacionais

As reservas nacionais medidas, indicadas e inferidas de urânio somam 295 mil toneladas de U_3O_8 , considerando as jazidas em exploração, havendo mais 300 mil toneladas estimadas em outros sítios, **que corresponde à 8ª maior reserva do mundo**. Além disto, o País domina o ciclo do combustível, que vai da mineração de urânio à fabricação do chamado elemento combustível, podendo, caso invista nas etapas desta cadeia, figurar no seleto grupo de países prestadores de serviço para essa indústria.

Tabela 17: Reservas brasileiras de urânio por depósitos

Depósito – Jazida	Medidas e Indicadas (U_3O_8 t)	Inferidas (U_3O_8 t)	Total (t)	Total (Mtep)
Caetité (BA)	51.520	35.569	87.089	678
Santa Quitéria (CE)	91.200	51.300	142.500	1110
Outras ¹	39.500	26.300	65.800	512
Total	182.220	113.169	295.389	2302
Potencial de Mineralização:		Pitinga (AM) – 150.000 t		
		Rio Cristalino (PA) – 150.000 t		

Fonte: Elaboração própria a partir de INB (2024).

Com o conhecimento das atuais reservas chega-se ao potencial de 155 mil toneladas de urânio recuperável, **suficientes para o atendimento de Angra 1, 2, 3 e mais 8 novas usinas de 1.000 MW por 60 anos** (vida útil estendida da planta).

O Brasil domina o ciclo do combustível nuclear, podendo, caso invista nas etapas desta cadeia, figurar no seleto grupo de países prestadores de serviço para essa indústria

Do urânio ao combustível nuclear

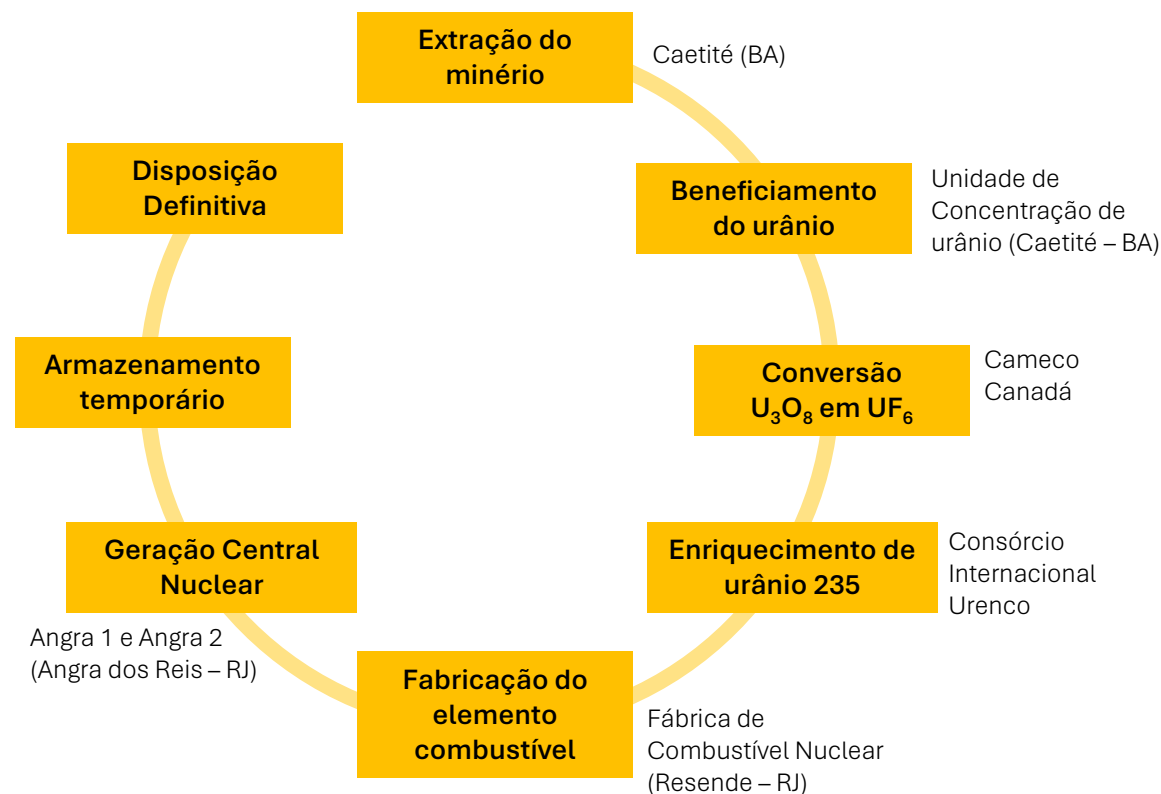
Após a mineração do urânio, **há uma série de etapas para a fabricação do combustível** que será utilizado nas centrais nucleares.

A etapa de mineração e beneficiamento, que produz o concentrado de urânio (*yellowcake*), é feita no Brasil. Após o beneficiamento, o U_3O_8 ainda necessita ser refinado antes da conversão em hexafluoreto de urânio (UF_6) para o posterior enriquecimento. Atualmente, esta etapa é realizada no Canadá. Em seguida, a URENCO, um consórcio europeu, realiza a etapa de enriquecimento do urânio para o Brasil. As etapas posteriores, de fabricação do elemento combustível (pastilhas e varetas de combustível) são realizadas no Brasil, em Resende (RJ).

O combustível é utilizado nas centrais nucleares em Angra dos Reis (RJ). Por fim, a empresa Eletronuclear é responsável pelo gerenciamento de rejeitos em suas instalações, o que inclui desde a guarda dos materiais radioativos, até a sua disposição final em instalações projetadas para o armazenamento de longo prazo, cuja responsabilidade legal de implantação e operação é da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Portanto, apesar do domínio nacional sobre grande parte do ciclo, o Brasil ainda transfere parte da produção para o exterior. **Avanços têm sido feitos para nacionalizar cada vez mais a produção do combustível nuclear.** Esse avanço é crucial para garantir a autonomia completa do País e fortalecer sua posição estratégica no setor.

Figura 22: Esquema do ciclo aberto do combustível nuclear no Brasil



Fonte: Elaboração própria.



Referências bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCM - Associação Brasileira do Carvão Mineral (2014). Carvão, Reservas, Mercado e Produção. **Curso Carvão Mineral**. Curso promovido pela SATC-Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina em Criciúma/SC. Nov. 2014.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2022). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>>. Acesso em: maio 2024.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (2024). **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>>. Acesso em: maio de 2024.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2025). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2025**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-brasileiro-do-petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis-2025>>. Acesso em: janeiro 2026.

ANUALPEC - Anuário da Pecuária Brasileira (2011). Anualpec 2011: **Anuário estatístico da pecuária de corte**. São Paulo: FNP, 2011.

ARBOIT, N. et al. (2013). Potential of Geothermal Energy Use in Brazil - Review. Geography Department, University of Sao Paulo. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273987394_Potential_of_Geothermal_Energy_Use_in_Brazil_-_Review>.

BRASIL (2016). **Política Nacional de Defesa. Estratégia Nacional de Defesa**. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/ajuste-01/estado_e_defesa/copy_of_pnd_e_end_2016.pdf>.

____ (2024). **Estratégia Nacional de Adaptação de Mudança do Clima**, Plano Clima. Disponível em: <<https://brasilparticipativo.presidencia.gov.br/processes/planoclima/f/315/>>. Acesso em: junho 2025.

COPPE/UFRJ e SEAHORSE WAVE ENERGY - Grupo de Energias Renováveis do Mar - Laboratório de Tecnologia Submarina (2013). **Fontes de energia renovável do mar: Panorama no Brasil**. Material preparado para a EPE. Out. 2013.

DINCER, I. et al. (2019). **Comprehensive Energy Systems**, Elsevier. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128095973003102>>.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral (2000). **Informativo Anual da Indústria Carbonífera 2000 (ano base 1999)**. Brasília. 2000.

EIA - Energy Information Administration (2011). **World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States**. Disponível em: <http://www.adv-res.com/pdf/ARI%20EIA%20Intl%20Gas%20Shale%20APR%202011.pdf>. Acesso em: março 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2023). **Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás**. 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/zoneamento-nacional-de-recursos-de-oleo-e-gas-2021-2023>>.

____ (2024a). **Banco de dados interno de acompanhamento de UHEs**. Base de dados não publicada. 2024.

____ (2024b). **Estimativa volumétrica da Bacia da Foz do Amazonas play Limoeiro**. 2024b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-846/AP-EPE-DPG-SPG_16-2024-Volumetria%20da%20FZA_publica%201.pdf>

____ (2025). **BEN. Relatório Síntese 2025. Ano base 2024**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>>. Acesso em: janeiro 2026.

IAG/USP – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. **Circulação geral da atmosfera**. Disponível em: <<http://master.iag.usp.br/pr/ensino/sinotica/aula15/>>. Acesso em: junho 2025.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2025). **Complexos Eólicos Offshore – Projetos com processo de licenciamento ambiental aberto no IBAMA**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20250311_Eolicas_Offshore_Ibama_marco_25.pdf>.

IEA - International Energy Agency (2023a). **Energy Statistics Data Browser 2023**. Disponível: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>>. Acesso em: abril 2024.

____ (2023b). **Hydrogen**. Disponível em: <<https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/hydrogen>>. Acesso em: abril 2024.

____ (2023c). **Global Hydrogen Review 2023**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>>. Acesso em: abril 2024.

____ (2023d). **World Energy Outlook 2023**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>>. Acesso em: abril 2024.

____ (2023e). **Data and statistics**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics>>. Acesso em: julho 2025.

____ (2024). **The Future of Geothermal Energy**. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/the-future-of-geothermal-energy>>. Acesso em: dezembro 2025.

INB - Indústrias Nucleares do Brasil (2024). **Suprimento de Combustível dos Reatores Nucleares Brasileiros**. Apresentação feita para o Nuclear Summit 2024 da ABDAN. Realizada por Aduino Seixas, presidente das INB. Disponível em: <https://abdan.org.br/?sdm_process_download=1&download_id=26707>. Acesso em: maio 2024.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2017). **Atlas brasileiro de energia solar. 2ª edição.** São José dos Campos. Disponível em: <https://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>.

MAIGA, O., Deville, E., Laval, J. et al. (2023). **Characterization of the spontaneously recharging natural hydrogen reservoirs of Bourakebougou in Mali.** Sci Rep 13, 11876. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-023-38977-y>>.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2024). **Projeções do Agronegócio – 2023.** MAPA, 2024. Contato pessoal. 2024.

MAZZUTTI, E., et al. (2023). **Geothermal climatization in Brazil - a literature review on characteristics, potential and obstacles to its implementation.** 264-271. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/379080106_Geothermal_climatization_in_Brazil_a_literature_review_on_characteristics_potential_and_obstacles_to_its_implementation>

MCKINSEY & COMPANY (2024). **Global Energy Perspective 2023: Hydrogen outlook.** Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-hydrogen-outlook>>. Acesso em: setembro 2025.

PADILHA, C. L. et al. (2022). Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil, **Renewable Energy**, 181, 1023-1033.

Project Innerspace. **GeoMap™**. Disponível em: <<https://geomap.projectinnerspace.org/map-selection/>>. Acesso em: dezembro 2025.

PWC (2023). **The green hydrogen economy: predicting the decarbonisation agenda of tomorrow.** Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html>>.

SAUER, I. L. et al. (2011). Energia, Recursos Minerais e Desenvolvimento. **9º CONSENGE: Energia e Meio ambiente. Caderno de teses.** Edição eletrônica: Federação Interestadual de sindicatos de Engenheiros – FISENGE.

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (2024). Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>>. Acesso em: maio 2024.

TASHIE-LEWIS et al. (2021). Hydrogen Production, Distribution, Storage and Power Conversion in a Hydrogen Economy - A Technology Review, **Chemical Engineering Journal Advances**, Volume 8, 2021.

World Energy Council (2007). **2007 Survey of Energy Resources.** 2007. ISBN: 0 946121 26 5.

AGRADECIMENTOS

Ao longo deste estudo foram realizadas reuniões com outras instituições a fim de receber contribuições para a elaboração do inventário de recursos energéticos do Plano Nacional de Energia 2055.

Nesse sentido, cumpre ressaltar as contribuições do Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento (MAPA), na pessoa de Eliana Teles Bastos, além das demais contribuições para o PNE 2055.

Ressalta-se, também, a colaboração da academia, através da participação da COPPE/UFRJ, do Grupo de Energias Renováveis do Mar (GERO) – representado por Milad Shadman e Segen Stfen, laboratório de tecnologia submarina COPPE/UFRJ & Seahorse Wave Energy, que revisou o material sobre o tema.

A EPE agradece a todos os que participaram e contribuíram para a elaboração deste estudo, incluindo a equipe que se envolveu em suas etapas iniciais, quando integrava os quadros da empresa.

As imagens utilizadas neste relatório foram obtidas nas plataformas Canva, Freepik, Pexels, Pixabay, Unsplash e Adobe Stock. Os ícones foram obtidos em Flaticon/Freepik.



Plano Nacional de Energia 2055

Clique [aqui](#) e acesse todos os estudos do PNE 2055

Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

